

VŠB – Technická Univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

Návrh využití tepla z výměníku před  
absorbérem odsíření v Elektrárně  
Dětmarovice

Proposal for Utilization of Heat from  
Exchanger before Desulfurization Absorber  
in Power Plant Dětmarovice

Student: Bc. Jan Kisza  
Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kiswa**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma: **Návrh využití tepla z výměníku před absorbérem odsíření v Elektrárně Dětmarovice**  
**Proposal for Utilization of Heat from Exchanger before Desulfurization Absorber in Power Plant Dětmarovice**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh využití tepla z výměníku na vstupu spalín do mokré vápencové vypírky na vybrané odsiřovací lince v Elektrárně Dětmarovice. Diplomová práce bude obsahovat:

1. Rešerši mokrých vápencových odsíření v energetice se zaměřením na výměníky tepla.
2. Výpočet tepelného výkonu výměníku ověřený měřením.
3. Návrh využití tepla z výměníku v zimním a letním období.
4. Schématický návrh způsobu vyvedení tepla.
5. Konstrukční řešení výměníku tepla.

### Grafické práce:

1. Schéma stávajícího výměníku a jeho zapojení, schéma vyvedení tepla z upraveného výměníku.
2. Výkresová dokumentace výměníku.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.
- [2] Kolat P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.
- [3] ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.
- [4] Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005.
- [5] Podklady a materiály katedry energetiky o odsíření v Elektrárně Dětmarovice.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 5. 2018



.....

podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požádat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2018

.....  
podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jan Kisa

Adresa trvalého pobytu autora práce: Horní 1004, Třinec, 739 61

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KISZA, J. *Návrh využití tepla z výměníku před absorbérem odsíření v Elektrárně Dětmorovice: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2018, 74 s. Vedoucí práce: Čech, B.

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi využití tepla, které vzniká během ochlazování spalin na vstupu do odsiřovací jednotky. Úvodem je provedeno zmapování aktuální koncepce s možností úprav výměníku pro zvýšení životnosti jak odsiřovací linky, tak zdroje získávání tepla. Zabývá se degradací aktuálního výměníku, naměřených hodnot látek vzniklých v absorbéru a provádí se technickoekonomické zhodnocení. V druhé fázi je proveden výpočet tepelného výměníku a možné návrhy umístění tepla do cyklu bloku či vytápění na popud elektrárny změnit trasu spalin z komína do chladících věží. Přílohou je výkresová dokumentace možného návrhu nového výměníku.

KLÍČOVÁ SLOVA: odsíření spalin, využití tepla, výměník tepla, elektrárna Dětmorovice.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KISZA, J. *Proposal for Utilization of Heat from Exchanger before Desulfurization Absorber in Power Plant Dětmorovice: Diploma Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Department of Energetics, 2018, 74 p. Thesis head: Čech, B.

This diploma thesis deals with possibilities of utilization of heat generated during cooling of flue gas at the entrance to desulphurization unit. At the beginning a mapping of the current concept with the possibility of modification of the exchanger to increase the life of both the desulphurization line and the heat recovery source has been made. It deals with the degradation of the current exchanger, the measured values of the substances generated in the absorber and the technical-economic evaluation. At the second stage, the heat exchanger has been calculated and possible suggestions for the placement of the heat in the block cycle or heating at the start of the power plant change the flue gas path from the chimney to the cooling towers. The attachment is a drawing documentation of a possible design of a new heat exchanger.

KEYWORDS: flue gas desulfurization, use of heat, Heat Exchanger, Power plant Dětmorovice.

# OBSAH

|   |    |
|---|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, INDEXŮ A ZKRATEK .....                         | 8  |
| Dolní a horní indexy .....  | 10 |
| Seznam zkratk .....   | 10 |
| 1    ÚVOD .....   | 11 |
| 2    TERMÍNY A DEFINICE .....   | 12 |
| 3    REŠERŠE MOKRÝCH VÁPENCOVÝCH ODSÍŘENÍ .....                         | 13 |
| 3.1    Obecné možnosti snížení síry ve spalínách .....                  | 13 |
| 3.2    Odsíření – Elektrárna Dětmarovice .....                          | 15 |
| 4    ŘEŠENÍ VÝMĚNÍKU V ODSÍŘOVACÍ JEDNOTCE .....                        | 19 |
| 4.1    Technické provedení .....  | 19 |
| 4.2    Technický stav .....   | 19 |
| 4.3    Schéma odsiřovací linky .....                                    | 21 |
| 5    MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ VÝMĚNÍKU .....                                  | 23 |
| 5.1    Složení vápencové suspenze .....                                 | 23 |
| 5.2    Složení spalín na vstupu do výměníku .....                       | 25 |
| 5.3    Naměřená hodnota rosného bodu spalín .....                       | 26 |
| 5.4    Použitelné materiály dle zjištěného prostředí .....              | 27 |
| 6    VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU .....                            | 28 |
| 6.1    Parametry kotle .....  | 28 |
| 6.2    Složení paliva .....   | 28 |
| 6.3    Stechiometrický výpočet kotle (objemově) .....                   | 29 |
| 6.4    Naměřené hodnoty spalín .....                                    | 34 |
| 6.5    Výpočet tepelného výkonu spalín .....                            | 38 |
| 7    POUŽITÉ ČERPADLO (kapaliny) .....                                  | 39 |
| 8    NÁVRH VYUŽITÍ TEPLA Z VÝMĚNÍKU V LETNÍM A ZIMNÍM OBDOBÍ .....      | 40 |
| 8.1    Obecné možnosti využití .....                                    | 40 |
| 8.2    Zvýšení účinnosti bloku elektrárny .....                         | 43 |
| 8.3    Vytápění Orlové – výměníková stanice .....                       | 46 |
| 8.4    Propojení obou variant pro maximální ekonomické zhodnocení ..... | 52 |
| 9    SCHÉMA AKTUÁLNÍHO ZAPOJENÍ VÝMĚNÍKU .....                          | 56 |
| 10   SCHÉMA PLÁNOVANÉHO ZAPOJENÍ VÝMĚNÍKU .....                         | 57 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 11   | VÝPOČET NOVÉHO VÝMĚNÍKU .....                  | 58 |
| 11.1 | Výpočet.....                                   | 60 |
| 11.2 | Konečné rozměry výměníku.....                  | 63 |
| 11.3 | Grafické zobrazení navrhovaného výměníku ..... | 63 |
| 12   | ZÁVĚR .....                                    | 66 |
|      | PODĚKOVÁNÍ .....                               | 67 |
|      | OPRÁVNĚNÍ K INTERNÍM INFORMACÍM .....          | 68 |
|      | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....                | 69 |
|      | SEZNAM OBRÁZKŮ .....                           | 71 |
|      | SEZNAM TABULEK .....                           | 73 |
|      | SEZNAM PŘÍLOH.....                             | 74 |

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, INDEXŮ A ZKRATEK

| Značka     | Veličina  | Jednotka        |
|------------|---|-----------------|
| $A$        | obsah popela  | %               |
| $C$        | obsah uhlíku, podíl spálených látek                                 | %               |
| $CO$       | obsah oxidu uhelnatého  | %               |
| $CaO$      | Obsah oxidu vápenatého  | %               |
| $CO_2$     | obsah oxidu uhličitého  | %               |
| $Ca(OH)_2$ | obsah hydroxidu vápenatého  | %               |
| $CaSO_4$   | obsah síranu vápenatého   | %               |
| $d$        | průměr  | $m, mm$         |
| $H$        | obsah vodíku  | %               |
| $H_2O$     | voda, vodní pára  | %               |
| $CU$       | černé uhlí  | %               |
| $M$        | molární hmotnost  | $g/mol$         |
| $F$        | Obsah fluoru  | %               |
| $N$        | obsah dusíku  | %               |
| $N_2$      | molekulární dusík   | $mg / m_N^3$    |
| $N_2O$     | oxid dusný  | $mg / m_N^3$    |
| $N_2O_3$   | oxid dusitý   | $mg / m_N^3$    |
| $N_2O_5$   | oxid dusičný  | $mg / m_N^3$    |
| $NH_3$     | množství čpavku   | $mg / m_N^3$    |
| $NO$       | oxid dusnatý  | $mg / m_N^3$    |
| $NO_2$     | oxid dusičitý   | $mg / m_N^3$    |
| $NO_x$     | oxidy dusíku  | $mg / m_N^3$    |
| $O$        | obsah kyslíku   | %               |
| $Q$        | výkon   | $W$             |
| $Cl$       | obsah chlóru  | %               |
| $p$        | tlak  | $Pa, bar$       |
| $p''_p$    | parciální tlak vodní páry na mezi sytosti pro danou teplotu vzduchu | $Pa$            |
| $Q_i$      | výhřevnost  | $MJ / kg$       |
| $S$        | obsah síry  | %               |
| DOC        | množství rozpuštěného organického uhlíku                            | $mg / l$        |
| $SO_2$     | obsah oxidu siřičitého  | %, $mg / m_N^3$ |



| Značka             | Veličina                             | Jednotka                |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| $t$                | teplota                              | $^{\circ}\text{C}; K$   |
| $pH$               | vodíkový exponent – kyselost roztoku | $l$                     |
| $V$                | objem složky ve spalínách            | $m_N^3 / kg, m_N^3 / h$ |
| $v$                | rychlost                             | $m/s$                   |
| $w$                | obsah vody, vlhkost paliva           | $\%$                    |
| CHSK               | biochemická spotřeba kyslíku         | $l$                     |
| $\alpha$           | přebytek vzduchu                     | $l$                     |
| $Na$               | Obsah sodíku                         | $g/l$                   |
| $\beta$            | stechiometrický přebytek reagentu    | $l$                     |
| $\Delta$           | přírůstek, rozdíl                    | $-$                     |
| $As$               | obsah arsenu                         | $\mu g/l$               |
| $Cd$               | obsah kadmia                         | $\mu g/l$               |
| $Cr$               | obsah chromu                         | $\mu g/l$               |
| $Hg$               | obsah rtuti                          | $\mu g/l$               |
| $Ni$               | obsah niklu                          | $\mu g/l$               |
| $Pb$               | obsah olova                          | $\mu g/l$               |
| $Sb$               | obsah antimonu                       | $\mu g/l$               |
| $Se$               | obsah selenu                         | $\mu g/l$               |
| $Tl$               | obsah thalia                         | $\mu g/l$               |
| $Zn$               | obsah zinku                          | $\mu g/l$               |
| $Qt$               | výkon tepelný                        | $W$                     |
| $c_v$              | měrná tepelná kapacita               | $l$                     |
| $c_p$              | měrná plynová konstanta              | $l$                     |
| $\kappa$           | poisonova konstanta                  | $l$                     |
| $E$                | energie                              | $J$                     |
| $m$                | množství                             | $kg/s, m^3/h$           |
| $\nu$              | součinitel vlhkého vzduchu           | $l$                     |
| $\rho$             | hustota                              | $kg/m^3$                |
| $\varphi$          | relativní vlhkost                    | $l$                     |
| $\eta$             | dynamická viskozita                  | $Pa \cdot s$            |
| $K$                | součinitel prostupu tepla            | $W/m^2 \cdot K$         |
| $S$                | obsah plochy                         | $m^2$                   |
| $b$                | šířka                                | $m$                     |
| $\nu$              | kinematická viskozita                | $m^2/s$                 |
| $\varepsilon$      | poměrná zářivost                     | $W/m^2 \cdot K$         |
| $\vartheta_{spal}$ | dynamická viskozita spalín           | $m^2/s$                 |
| $c_z$              | součinitel oprav                     | $l$                     |
| $\lambda$          | tepelná vodivost                     | $W/m^2 \cdot K$         |

## Dolní a horní indexy

| Index           | Význam          |
|-----------------|-----------------|
| <i>a</i>        | analytický stav |
| <i>h</i>        | hořlavina       |
| <i>r</i>        | surový stav     |
| <i>ref</i>      | referenční      |
| <i>s</i>        | suchý           |
| <i>skut</i>     | skutečný        |
| <i>v</i>        | vlhký           |
| <i>sk</i>       | skutečný        |
| <i>sp; spal</i> | spaliny         |
| <i>t</i>        | teoretický      |
| <i>ln</i>       | logaritmický    |
| <i>p</i>        | plynu           |
| <i>t</i>        | tepelný         |

## Seznam zkratek

| Index       | Význam                                   |
|-------------|--|
| <i>MGGH</i> | Mitsubishi gas-gas heater                |
| <i>EDĚ</i>  | Elektrárna Dětmarovice                   |
| DOC         | množství rozpuštěného organického uhlíku |
| <i>VT</i>   | vysokotlaká                              |
| <i>NT</i>   | nízkotlaká                               |
| <i>VTO</i>  | vysokotlaký ohřev                        |
| <i>NTO</i>  | nízkotlaký ohřev                         |
| <i>KČ</i>   | kondenzační čerpadlo                     |
| <i>NV</i>   | napájecí voda                            |

# 1 ÚVOD

Aktuální snahou několika posledních desítek let je zajištění elektrické energie ekologičtějšíм způsobem. V současné době je podstatná část elektřiny vyráběna z neobnovitelných zdrojů, mezi které patří i uhlí. Mezi tyto zdroje patří i uhelná elektrárna Dětmarovice (viz Obr. 1.1.1), která nemá v současné době žádnou ekologičtější náhradu v kraji. Proto společnost ČEZ, a.s. jako provozovatel společně s legislativními požadavky provedla v letech 1996 až 1999 modernizaci stávajícího zařízení a nainstalovala zařízení pro mokrou metodu odsíření spalín.

*Neveřejná část textu (text je součástí úvodu v literatuře [18])*

Nabízí se otázka, kde dále využít teplo, které vzniká na výstupu z výměníku tepla před vstupem spalín do absorbéru. Jednou z variant by mohlo být využití tepla do stávajícího cyklu bloku pro zvýšení účinnosti, nebo využití tepla pro ohřev teplé užitkové vody, kterou se vytápí objekty elektrárny a oblast Orlové. Jelikož se tyto varianty jeví jako nejrozumnější, pokusím se nastínit k této variantě konstrukční řešení, bilanční výpočet, který doplním o poznatky z praxe. [15;16]



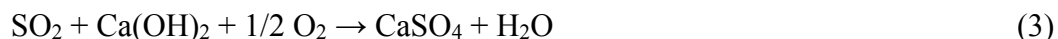
*Obr. 1.1.1 - Pohled na ELEKTRÁRNU DĚTMAROVICE*

## 2 TERMÍNY A DEFINICE

Celá kapitola citována ze zdroje [1]

### **odsíření** (*desulfurisation*)

obecně se takto označuje proces odstranění příměsí síry z nějaké směsi. Jedná se převážně o odstranění síry z vypouštěných spalin či odstranění síry z odpadů.



### **emise** (*emission*)

vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí

### **absorbér** (*absorber*)

zařízení na získávání nebo odstraňování složky nebo složek z plynné směsi absorpcí v kapalném rozpouštědle

### **imise** (*immission*)

znečištění ovzduší vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek

### **suspenze** (*suspension*)

je různorodá směs jemně rozptýlené pevné látky v kapalině. Důležitým znakem suspenze je, že dochází k samovolnému, ale pomalému oddělení složek směsi, jakou je například sedimentace

### **palivo** (*fuel*)

plynný, kapalný nebo tuhý hořlavý materiál vhodný ke spalování ve zdrojích znečišťování ovzduší a splňující požadavky na kvalitu a vlastnosti stanovené Ministerstvem životního prostředí. (Palivem není odpad podle zákona 185/2001 Sb. o odpadech), která se přivádí do jiných látek či směsí s cílem upravit (vylepšit) jejich vlastnosti.

### **koncentrace** (*concentration*)

poměr sledované látky k celkovému množství roztoku nebo směsi. Existují různé typy koncentrací, např.: hmotnostní, objemová a molární.

### **3 REŠERŠE MOKRÝCH VÁPENCOVÝCH ODSÍŘENÍ**

#### **3.1 Obecné možnosti snížení síry ve spalínách**

**Snížení množství síry vypouštěné do ovzduší lze uskutečnit těmito způsoby:**

- spalovat nízko-síratá paliva,
- odsiřovat již samotné palivo (uhlí),
- odsiřovat vzniklé spaliny (nejčastější řešení).

**Samotné dělení odsíření spalín podle různých hledisek:**

- **Podle hlediska regenerace činidla:**

- metody regenerativní,
- metody neregenerativní.

- **Podle hlediska fáze:**

- suché metody,
- polosuché metody,
- mokré metody.

- **Podle místa procesu odsiřování:**

- odsiřování přímo v kotli,
- odsiřování za kotlem.



*Obr. 3.1.1 - Odsiřovací linka EDĚ*

Provedení odsíření na elektrárnách s většími výkony je uskutečněno nejčastěji pomocí dvou metod odsiřování kouřových plynů vzniklých během procesu spalování u spalovacích kotlů na uhlí. Nejčastěji je to tzv. mokrá metoda, při níž jsou spaliny vedeny přes mokrou vápencovou vypírku. Existuje také druhá metoda, které se říká polosuchá. Během této metody jsou škodliviny ze spalin absorbovány na částicích vápenné suspenze. Z těchto částic se vlivem tepla ve spalinách odpaří částice vody. Zbylé částice se následně zachytí společně s popílkem v elektro-odlučovačích. V případě, že se jedná o fluidní kotle, v těch se nejčastěji přidává vápenec přímo do fluidní vrstvy. Vzniklou chemickou reakcí v dané fluidní vrstvě se takto během spalování minimalizuje vznik oxidu síry. [15;16]

Má práce se ovšem zaměřuje na první provedení, tedy na metodu pomocí mokré vápencové vypírky. U této metody je také jednou z výhod využití vzniklého sádrovce. Ten je odstraňován z procesu formou neustálého odpouštění části vápencové směsi. Tato je následně odvodněná a využívána k výrobě tzv. sádrokartonových desek ve stavebnictví. [15;16]



### 3.2 Odsíření – Elektrárna Dětmarovice

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 3.2 v literatuře [18])*



*Obr. 3.2.1 - Dělení spalin do dvou odsiřovacích linek*

V případě, že jdou spaliny po vyčištění do komína, který není konstrukčně schopný pracovat v pásmu tzv. mokrých spalin (což znamená, že nám spaliny kondenzují na agresivní kyseliny přímo v komínu), pak v konečném důsledku působí degradačně na tento komín. [15;16]

Nezbývá nám tedy potom jiná varianta než spaliny znovu ohřát. Nejčastěji je toto realizováno druhým výměníkem, v němž získané teplo v prvním výměníku opět vrátíme do spalin. Spaliny se nám tak dostanou nad saturační stav a nekondenzují nám již v komínu. Bohužel tyto výměníky mají samozřejmě určité ztráty a je nutné nakonec ještě přivést do tohoto systému další teplo. Tím se ale bohužel snižuje účinnost celého cyklu bloku. [15;16]

Současným trendem je proto vypouštět spaliny do komína uzpůsobeného na tzv. mokré spaliny.

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 3.2 v literatuře [18])*

Zaměříme-li se na samostatný proces v absorbéru, jež využívá principu mokré vápencové vypírky, kyselé složky spalin jsou zachycovány pomocí zásadité vápencové suspenze za tvorby siřičitanů a hydrosiřičitanů vápenatých, které jsou následnou oxidací pomocí vzduchu vháněného do suspenze v nádrži absorbéru a zbytkového kyslíku obsaženého ve spalinách převedeny na stabilní dihydrát síranu vápenatého (sádrovec), o kterém jsem se již zmiňoval v dalším využití na sádrokartonové desky ve stavebnictví.

Při tomto procesu samozřejmě dochází také k zachycení některých dalších škodlivých složek kouřových plynů, jako chlorovodíku, fluorovodíku, popílků apod. [15;16]

Chceme-li tento proces vyjádřit chemicky, jedná se o tyto rovnice: [1]

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$  – výroba tzv. vápenného mléka či suspenze (obsah absorbérů) (5)



Nyní si popíšeme blíže vznik této směsi na Elektrárně Dětmarovice. Vápenec pro výrobu sorbetu (vápencové suspenze) je pro odsíření EDĚ dodáván pomocí železničních vagónů. Po vysypání vagónů do výsypky (viz Obr. 3.2.2), umístěné pod koleji vlečky, je vápenec systémem dopravníků dopraven do sila vápence. [15;16]



*Obr. 3.2.2 – Výkládka vápence na EDĚ*

Následuje drcení vápence pomocí kladívkových mlýnů (viz Obr. 3.2.3) a poté společně s vodou v kulových mlýnech (viz Obr. 3.2.4) na již připravenou vápencovou suspenzi pro další využití. [15;16]



*Obr. 3.2.3 – Kladívkový mlýn vápence EDĚ*



*Obr. 3.2.4 – Kulový mlýn vápence EDĚ*



Vápencová suspenze je pomocí čerpadel, potrubí a dvou zásobníků buď skladována, nebo rovnou využívána pro doplnění hladiny v absorberu. Cirkulace vápenného mléka v absorberu je zajišťována pomocí velkých čerpadel uvedených na obrázku (viz Obr 3.2.5), vápenné mléko je rozptylováno do místa, kudy proudí spaliny pomocí rozptylovacích (rozstříkových) desek. [15;16]



*Obr. 3.2.5 - Cirkulační čerpadla vápenné suspenze EDĚ*

Jedná se o odstředivá čerpadla pro velké objemové průtoky a malé tlakové změny. Zaměříme-li se ještě podrobně na to, co se děje se zdejším vápenným mlékem (suspenzí), dojdeme k závěru, že jeho určitá část je odpouštěna. Sádrovcová suspenze je z absorberu přečerpávána nejprve do skladovacího zásobníku sádrovcové suspenze o využitelném objemu 38,2 m<sup>3</sup>.

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 3.2 v literatuře [18])*

Tento sádrovec je z vakuových filtrů dopravován pomocí systému pásových dopravníků. Zdejší produkt je již vykupován firmou vyrábějící výše zmíněné sádrokartonové desky. Přebytná odpadní voda z vakuových filtrů sádrovce je shromažďována v zásobní nádrži odpadní vody. Tato voda je následně neutralizovaná a odpařovaná v kouřovodu před ohřívákem vzduchu. [15;16]

## **4 REŠENÍ VÝMĚNÍKU V ODSÍŘOVACÍ JEDNOTCE**

### **4.1 Technické provedení**

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 4.1 v literatuře [18])*

Pomocí tohoto parního ohříváku jsme schopni zvyšovat teplotu spalin na vstupu do přehříváku nebo na jeho výstupu, abychom dodrželi teplotu spalin, tím samozřejmě zase eliminujeme zvýšenou tvorbu kyselin ve spalinách. Tento ohřívák můžeme dále využít ke krátkodobému udržení teplot výměníků v případě odstávky, kdy udržujeme absorbér v takzvané teplé záloze. Samozřejmě toto je velice neekonomické řešení. [11;15;16]

### **4.2 Technický stav**

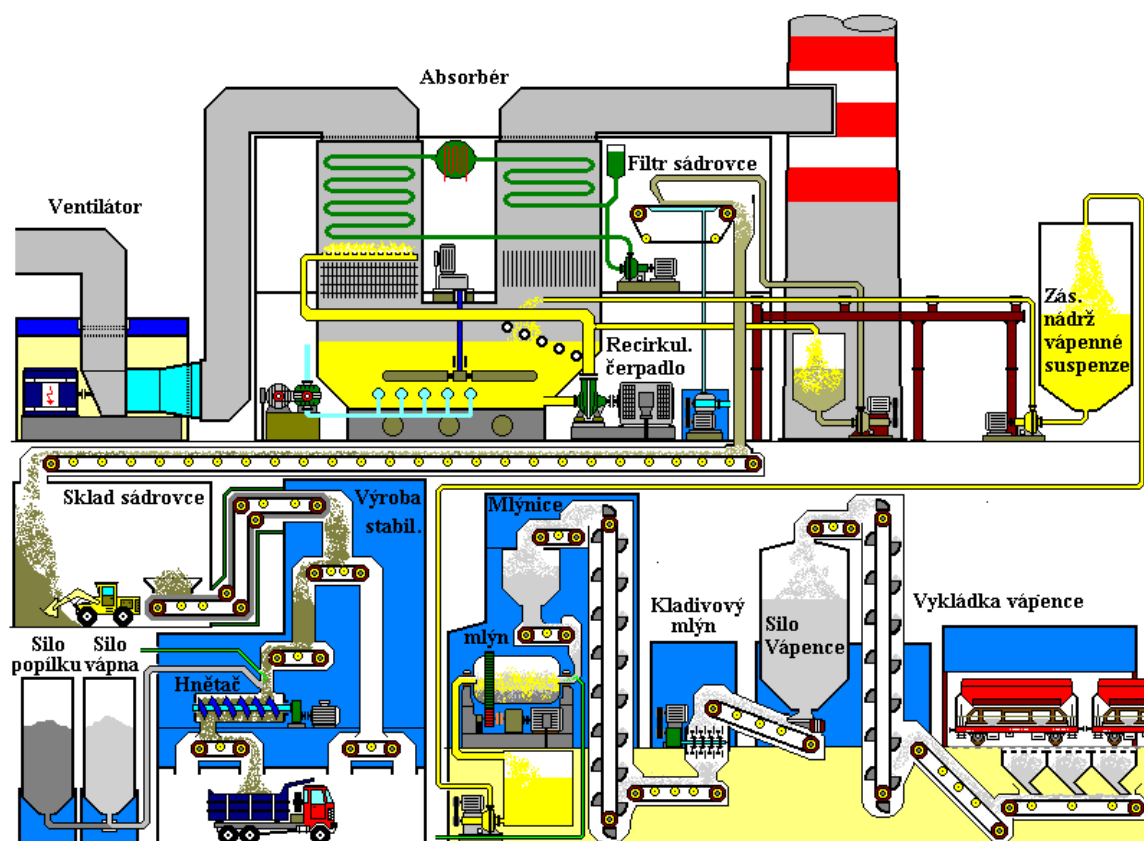
*Neveřejná část textu + obrázky stavu (text + obrázek je součástí kapitoly 4.2 v literatuře [18])*

*Neveřejná část textu + obrázky stavu (text + obrázek je součástí kapitoly 4.2 v literatuře [18])*



### 4.3 Schéma odsiřovací linky

Pro shrnutí následuje grafické schéma celého odsiřovacího procesu na EDĚ:



Obr. 4.3.1 - Odsiřovací proces – schéma [16]

Neveřejná část textu + obrázky stavu (text + obrázek je součástí kapitoly 4.3 v literatuře [18])

*Neveřejná část textu + obrázky stavu (text + obrázek je součástí kapitoly 4.2 v literatuře [18])*

## 5 MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ VÝMĚNÍKU

### 5.1 Složení vápencové suspenze

Z měření provedeného za provozu bloku Vysokou školou Bánskou – Technickou univerzitou v Ostravě vyplývá, že v chemickém složení suspenze v absorbérů uvedeném v tabulce níže, převládá chlór a vápník. Vzniká téměř nasycený roztok chloridu vápenatého a je zde zvýšené množství rozpuštěného organického uhlíku (DOC), (viz Tab. 5.1.1). [10]

| Datum odběru | pH | vodivost | KNK <sub>4,5</sub> | Hustota           | CHSK <sub>Cr</sub> | DOC | Ncelk |
|--------------|----|----------|--------------------|-------------------|--------------------|-----|-------|
|              |    | mS/m     | mmol/l             | g/cm <sup>3</sup> | (mg/l)             |     |       |
| 15.05        |    |          |                    |                   |                    |     |       |
| 16.05        |    |          |                    |                   |                    |     |       |
| 17.05        |    |          |                    |                   |                    |     |       |

Tab. 5.1.1 - Vlastnosti suspenze v absorbérů

| Odběr | Na    | K | Ca | Mg | Cl <sup>-</sup> | (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> |
|-------|-------|---|----|----|-----------------|----------------------------------|
|       | (g/l) |   |    |    |                 |                                  |
| 1     |       |   |    |    |                 |                                  |
| 2     |       |   |    |    |                 |                                  |
| 3     |       |   |    |    |                 |                                  |

Tab. 5.1.2 - Chemické složení suspenze v absorbérů

*Neveřejné hodnoty (hodnoty jsou součástí kapitoly 5.1 v literatuře [18])*

Z důvodu zvýšené hodnoty DOC byl proveden podrobnější chemický průzkum výskytu organických látek ve vodě z absorbérů. Abychom zjistili přítomnost organických látek, byla zvolena extrakce pomocí standardního rozpouštědla hexanu a dále provedena extrakce v zásaditém a kyselém prostředí, jak uvádí zpráva z laboratoře. Dle výsledku převládají halonované uhlovodíky s jódem. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 5.1.2). [10]

*Neveřejná část textu + tabulky (text a tabulka je součástí kapitoly 5.1 v literatuře [18])*

Na závěr se zaměříme na chemické složení těžkých kovů obsažených v tomto roztoku (viz Tab. 5.1.3) [10].

*Tab. 5.1.3 - Chemické složení těžkých kovů v suspenzi absorbéru*

Proč se vlastně tímto zpracovaným rozbořem zabýváme? Odpověď je jednoduchá, po zmapování aktuálního stavu jdeme do rozhodnutí, jak upravíme první výměník pro získání tepla, kterým se zabýváme, a také od tohoto stavu se bude odvíjet další konstrukce. V první řadě tedy zvolíme vhodný materiál výměníku včetně konstrukce, který deklaruje určitou

životnost a je ještě finančně únosný. Zkusme se proto ještě zaměřit na spaliny vstupující do tohoto výměníku. [10]

## 5.2 Složení spalin na vstupu do výměníku

**Složení spalin na vstupu do odsiřovací jednotky (viz Tab. 5.2.1) naměřené akreditovanou společností [15]:**

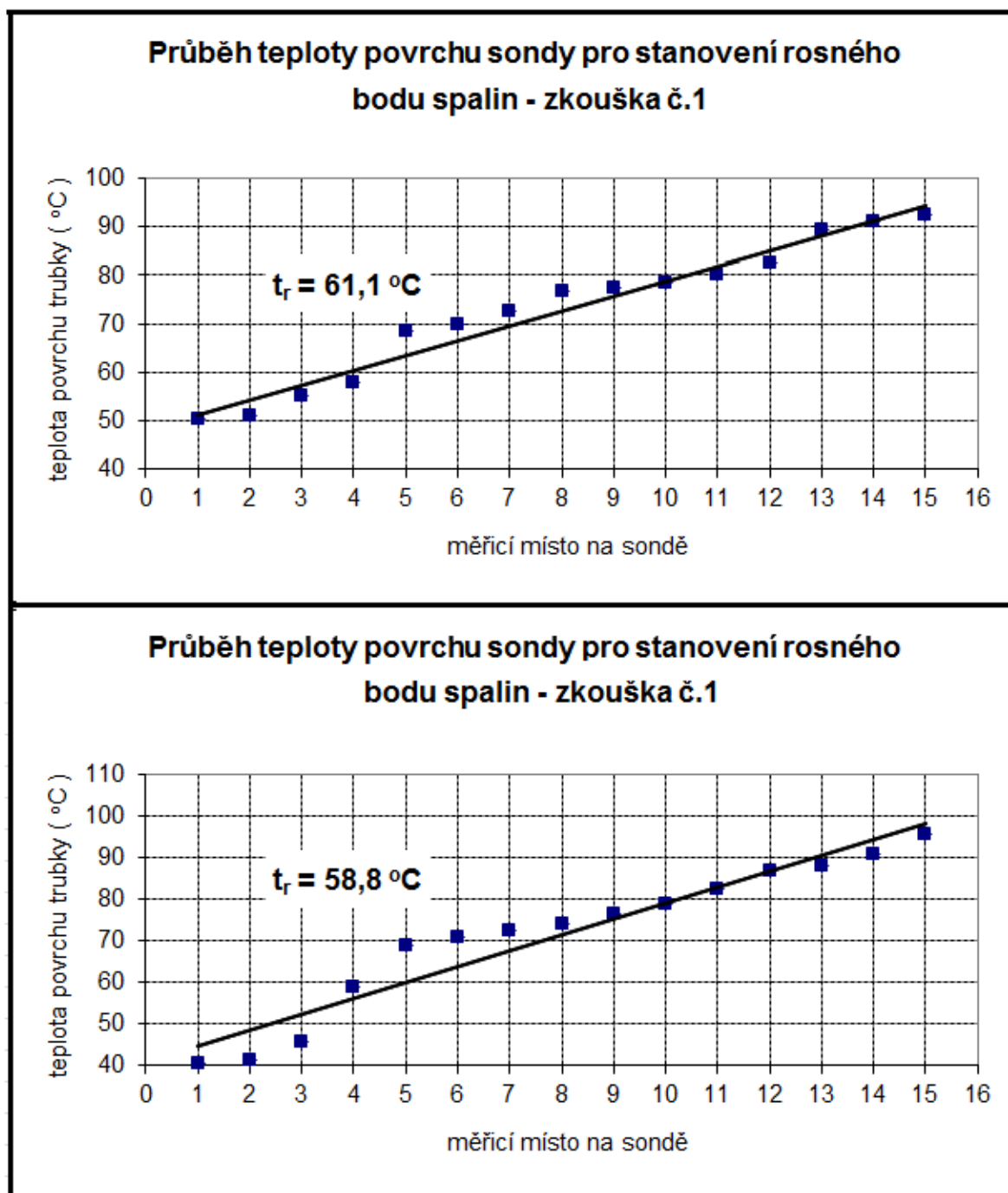
*Neveřejná část měření (text je součástí kapitoly 5.2 v literatuře [18])*

Můj prvotní úsudek znamenal použití antikorozního materiálů pro celý výměník. Dle cen výrobců se sice výroba prodrazí přibližně na dvojnásobek, ale životnost by byla dostačující v závislosti na požadavcích provozovatele (přibližně 30 let). Nyní ovšem dle chemického rozboru počítuji možnost výskytu chloridu a hrozí koroze i antikorozních ocelí. Navíc v aktuální vizi budoucnosti uhelných elektráren v závislosti na ceně elektřiny na burze bude rozhodně vhodnější volit co nejúspěšnější variantu na úkor požadované životnosti.

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 4.2 v literatuře [18])*

### 5.3 Naměřená hodnota rosného bodu spalín

Hodnota rosného bodu spalín (viz Obr. 5.3.1), byla určena pomocí několika provedených měření. Tímto se přesněji zjistilo, zda se výměník bude nacházet v prostředí, kde již spaliny kondenzují, nebo bude bezpečně nad tímto bodem [15].





## **5.4 Použitelné materiály dle zjištěného prostředí**

Zkusme se nyní zaměřit na jednotlivé světové výzkumy materiálů vhodných pro použití. Uvažujme tak, že se rozhodně ne za každých podmínek dostaneme teplotně nad rosný bod. Pro stanovení korozivity je třeba tedy vzít v potaz rosný bod, kyselost (pH), teplotu, koncentraci halogenidu (chloridy a fluoridy) nebo rychlost průtoku spalin. Pokud podmínky klesnou pod rosný bod, hrozí zde nebezpečí kondenzace koncentrovaných kyselin, což je obvykle příčinou koroze. [6]

Zaměříme se tedy na materiály, které by připadaly v úvahu. Mohly by to být uhlíkové oceli. Tyto jsou však vyloženě vhodné pouze pro použití u spalin nad rosným bodem. Jsou tedy v rámci ideální teploty vhodné pro odsíření mimo tuto hranici. Lze tedy pouze uvažovat o jejich použití v některé části výměníku na vstupu spalin, ale není zajištěna možná ojedinělá možnost výskytu prvků vznikajících pod rosným bodem. Jako další materiály připadají v úvahu slitiny odolné proti korozi. Jedná se o vysoce legované nerezové oceli nebo niklové slitiny. Chceme-li tedy použít například austenitické nerezové oceli, nakonec zjistíme, že nemají dostatečně silný pasivní film, který by odolal typickým podmínkám spalin. Austenitické třídy ocelí lze tedy použít pro podmínky s mírným pH a nízkými koncentracemi chloridových iontů. Jedná se o takové, které mají vyšší obsah molybdenu, např. až do 4,5 %. Další variantou je použití duplexní nerezové oceli jako takzvaný výběr toho nejlepšího ze všech tříd ocelí. Výzkumem se došlo k závěru, že pro spaliny je vhodné použití duplexní nerezové oceli 25Cr. Nesmíme se však dostat pod hodnotu pH 2, jelikož v tomto případě již také tato slitina koroduje. Nejvhodnější metodou se zdá se být použití slitin niklu. Tyto odolávají prostředí v absorbéru a stále si zachovávají pasivní film bohatý na molybden. Bohužel cena je příliš vysoká a také často vznikají problémy s těsností systému ve svarech.

Za úvahu by stálo porovnat dané materiály společně s vývojem nanotechnologie korozní ochrany. Bohužel však například antikoroziní nátěry nebo keramické úpravy zhorší tepelnou vodivost a jsou pro použití v tomto výměníku téměř nemyslitelné. Další z možností by mohl být výzkum, který se provede v nano-technologickému centru. [6]

*Neveřejná část textu + obrázky stavu (text je součástí kapitoly 5.4 v literatuře [18])*

Pro další kontrakční návrhy bude zapotřebí provést výpočet tepelného výměníku.

## 6 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU

Pro určení výkonu potřebujeme znát množství spalin na vstupu do výměníku. Ten vypočteme dle množství spalovaného uhlí a naměřené teploty. [7; 13; 14]

### 6.1 Parametry kotle

Kotel zaručuje provoz v regulačním rozsahu 60 až 100 % jmenovitého výkonu. Regulační pásmo je  $\pm 15$  % při 75 % jmenovitého výkonu a 7 % při 93 % jmenovitého výkonu. Deklarované parametry kotle jsou následující (viz Tab. 6.1.1). [16]

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Způsob spalování</b>                   | granulační – foukání prášku |
| <b>Palivo</b>                             | 100 % ČERNÉ UHLÍ            |
| <b>Jmenovitý parní výkon kotle</b>        | 650,0 t/h                   |
| <b>Tepelný výkon kotle</b>                | 501,3 MW                    |
| <b>Teplota VT páry</b>                    | 540 °C                      |
| <b>Jmenovitá teplota napájecí vody</b>    | 250 °C                      |
| <b>Tlak na výstupu VT páry</b>            | 16,5 MPa                    |
| <b>Účinnost garantovaná při 650 t/hod</b> | 90,4 %                      |
| <b>Účinnost garantovaná při 540 t/hod</b> | 90,8 %                      |
| <b>Výhřevnost paliva</b>                  | 20,77 až 25,12 MJ/kg        |

Tab. 6.1.1 - Základní parametry kotle na EDĚ

### 6.2 Složení paliva

Jedná se o palivo (viz Tab. 5.2.1), které bylo původně směsí černouhelného ostravského „hruboprachu“ a granulovaných kalů. V aktuální situaci, kdy je nedostatek paliva, se doslova

spaluje cokoliv o obdobných parametrech. Testuje se uhlí dovážené z Kanady, Ruska či Polska. Časem se také uvažuje o úpravě kotlů na spalování odpadu. Toto by ale znamenalo zásadní konstrukční úpravu kotlů i čištění spalin. [16]

*Neveřejná tabulka (tabulka je součástí kapitoly 6.2 v literatuře [18])*

*Tab. 5.2.1 - Složení používaného paliva v surovém stavu*

Tabulka převzatá z akreditovaného měření [16] ze dne 30.5.2017. Popelovina zjištěna metodou ASTM D 7582, výhřevnost dle ČSN ISO 1928. Nejistoty měření pro mé výpočty neuvádím.

### 6.3 Stechiometrický výpočet kotle (objemově)

Výpočet realizován pomocí programu Excel. Soubor součástí přílohy. Ve výpočtech byly použity hodnoty z předchozích tabulek parametrů paliva a hodnoty kyslíku naměřené ve spalinách. [7; 13; 14]

#### **Množství kyslíku potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva:**

Příslušné hodnoty jsou uvedené (viz Tab. 5.2.1), dosazeny do rovnice (9).

$$V_{O_2} = \frac{22,39}{12,01} \cdot \frac{C^r}{100} + \frac{22,39}{4,032} \cdot \frac{H^r}{100} + \frac{22,39}{32,06} \cdot \frac{S^r}{100} - \frac{22,39}{32} \cdot \frac{O^r}{100} \quad [m_N^3 / kg] \quad (9)$$

**Množství vzduchu teoretického, suchého, potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva:**

$$V_{vz,t}^s = \frac{V_{O_2}}{0,21} \quad [m_N^3 / kg] \quad (10)$$

$V_{O_2}$  = množství kyslíku ze vztahu (9)

**Přebytek vzduchu:**

$$\alpha = 1 + \frac{V_{sp,t}^s}{V_{vz,t}^s} \cdot \frac{\frac{c_{O_2}}{100}}{0,21 - \frac{c_{O_2}}{100}} \quad [1] \quad (11)$$

$V_{sp,t}^s$  = množství spalín teoretických, suchých ze vztahu (15)

$c_{O_2}$  = koncentrace kyslíku ve spalínách, počítáno s 6 % z měření

$V_{vz,t}^s$  = množství vzduchu teoretického, suchého ze vztahu (10)

**Množství vzduchu skutečného, suchého, potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva:**

$$V_{vz,sk}^s = V_{vz,t}^s \cdot \alpha \quad [m_N^3 / kg] \quad (12)$$

$V_{vz,t}^s$  = množství vzduchu teoretického, suchého ze vztahu (10)

$\alpha$  = přebytek vzduchu, vypočtený dle rovnice (11)

**Součinitel zvětšení objemu spalín vzdušnou vlhkostí v přivedeném spalovacím vzduchu:**

$$\nu = 1 + \varphi \cdot \frac{p_p''}{p_{bar} - \varphi \cdot p_p''} \quad [1] \quad (13)$$

$\varphi$  = relativní vlhkost a má hodnotu 0,8 (1)

$p_{bar}$  = atmosférický tlak, jeho hodnota je 99800 (Pa)

$p_p''$  = parciální tlak vodní páry na mezi sytosti pro danou teplotu vzduchu. Jeho hodnoty jsou uvedeny (viz Tab. 6.3.1), počítáno s teplotou vzduchu 20 °C.

| Teplota vzduchu $t_{vz}$ | Parciální tlak vodní páry $p''_p$ |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 0 °C                     | 610,8 Pa                          |
| 10 °C                    | 1227,7 Pa                         |
| 20 °C                    | 2336,8 Pa                         |

Tab. 6.3.1 - Parciální tlak vodní páry na mezi sytosti pro danou teplotu vzduchu

**Množství vzduchu skutečného, vlhkého, potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva:**

$$V_{vz,sk}^v = V_{vz,sk}^s \cdot v \quad [m_N^3 / kg] \quad (14)$$

$V_{vz,sk}^s$  = množství vzduchu skutečného, suchého ze vztahu (12)

$v$  = součinitel zvětšení objemu spalin vzdušnou vlhkostí ze vztahu (13)

**Množství spalin teoretických, suchých, vzniklých po spálení 1 kg paliva:**

Příslušné hodnoty uvedené v tab. 3. byly dosazeny do rovnice (19).

$$V_{sp,t}^s = \frac{22,26}{12,01} \cdot \frac{C^r}{100} + \frac{21,89}{32,06} \cdot \frac{S^r}{100} + \frac{22,4}{28,014} \cdot \frac{N^r}{100} + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s \quad [m_N^3 / kg] \quad (15)$$

$V_{vz,t}^s$  = množství vzduchu teoretického, suchého ze vztahu (10)

**Množství spalin skutečných, suchých, vzniklých po spálení 1 kg paliva:**

$$V_{sp,sk}^s = V_{sp,t}^s + (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s \quad [m_N^3 / kg] \quad (16)$$

$V_{sp,t}^s$  = množství spalin teoretických, suchých ze vztahu (15)

$\alpha$  = přebytek vzduchu ze vztahu (11)

$V_{vz,t}^s$  = množství vzduchu teoretického, suchého ze vztahu (10)

**Množství vodní páry ve spalinách vzniklý po spálení 1 kg paliva:**

Příslušné hodnoty uvedené v tab. 3 byly dosazeny do rovnice (21).

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2,016} \cdot \frac{H^r}{100} + \frac{22,4}{18,144} \cdot \frac{w^r}{100} + (v - 1) \cdot V_{vz,sk}^s \quad [m_N^3 / kg] \quad (17)$$

$v$  = součinitel zvětšení objemu spalin vzdušnou vlhkostí ze vztahu (13)

$V_{vz,sk}^s$  = množství vzduchu skutečného, suchého ze vztahu (12)

**Množství spalin skutečných, vlhkých, vzniklých po spálení 1 kg paliva:**

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O} \quad [m_N^3 / kg] \quad (18)$$

$V_{sp,sk}^s$  = množství spalin skutečných, suchých ze vztahu (16)

$V_{H_2O}$  = množství vodní páry ve spalinách ze vztahu (17)

**Koncentrace jednotlivých složek v teoretických suchých spalinách po spálení 1 kg paliva:**

$$CO_2 = \frac{\frac{22,26}{12,01} \cdot C^r}{V_{sp,t}^s} \quad [\%] \quad (19)$$

$$SO_2 = \frac{\frac{21,86}{32,06} \cdot S^r}{V_{sp,t}^s} \quad [\%] \quad (20)$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28,014} \cdot \frac{N^r}{100} + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,t}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (21)$$

**Koncentrace jednotlivých složek ve skutečných suchých spalinách po spálení 1 kg paliva:**

$$CO_2 = \frac{\frac{22,26}{12,01} \cdot C^r}{V_{sp,sk}^s} \quad [\%] \quad (22)$$

$$SO_2 = \frac{\frac{21,86}{32,06} \cdot S^r}{V_{sp,sk}^s} \quad [\%] \quad (23)$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28,014} \cdot \frac{N^r}{100} + 0,79 \cdot V_{vz,sk}^s}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (24)$$

$$O_2 = \frac{(\alpha - 1) \cdot 0,21 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (25)$$



**Koncentrace jednotlivých složek ve skutečných vlhkých spalínách po spálení 1 kg paliva:**

$$CO_2 = \frac{\frac{22,26}{12,01} \cdot C^r}{V_{sp,sk}^v} [\%] \quad (26)$$

$$SO_2 = \frac{\frac{21,86}{32,06} \cdot S^r}{V_{sp,sk}^v} [\%] \quad (27)$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28,014} \cdot \frac{N^r}{100} + 0,79 \cdot V_{vz,sk}^{r,s}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 [\%] \quad (28)$$

$$O_2 = \frac{(\alpha - 1) \cdot 0,21 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 [\%] \quad (29)$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 [\%] \quad (30)$$

*Neveřejná tabulka (tabulka je součástí kapitoly 6.3 v literatuře [18])*

## **6.4 Naměřené hodnoty spalín**

Parametry spalín (viz Tab. 6.4.1), které byly naměřeny za kotlem akreditovanou společností, která spolupracuje s Vysokou školou Báňskou – Technickou univerzitou Ostrava ještě před kouřovým ventilátorem. [15]

Efektivní podmínky jako teplota, tlak, obsah  $O_2$  a  $H_2O$  byly měřené za provozního stavu kotle.

### **Normální podmínky pro spaliny:**

Teplota -  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Tlak -  $p_{\text{abs}} = 101,325\text{ kPa}$  (absolutní),

Vlhké spaliny - obsah  $H_2O$  měřený za určitého provozního stavu kotle,

Suché spaliny - obsah  $H_2O = 0\%$ .

### **Referenční podmínky:**

Teplota -  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Tlak -  $p_{\text{abs}} = 101,325\text{ kPa}$  (absolutní),

Obsah  $O_2 = 6\%$ ,

Obsah  $H_2O$  -  $H_2O = 0\%$ .

|   |   |
|---|---|
| <b>Teplota</b>  | <b>110 - 160 °C</b>                           |
| <b>Tlak</b>   | <b>-0,7 až -1,5 kPa</b>                       |
| <b>Obsah O<sub>2</sub> na výstupu z kotle</b>                 | <b>4 - 7 %</b>                                |
| <b>Obsah H<sub>2</sub>O</b>                                   | <b>5 - 7 %</b>                                |
| <b>Jmenovité množství při jmenovitém výkonu kotle</b>         |   |
| <b>efektivní</b>  | <b>1 044 000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup></b> |
| <b>za normálních podmínek, vlhké</b>                          | 666 000 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |
| <b>za normálních podmínek, suché</b>                          | 626 400 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |
| <b>referenční</b>   | 648 000 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |
| <b>Maximální naměřené množství během jednoho měřicího dne</b> |   |
| <b>efektivní</b>  | <b>1 260 000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup></b> |
| <b>za normálních podmínek, vlhké</b>                          | 800 000 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |
| <b>za normálních podmínek, suché</b>                          | 756 000 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |
| <b>referenční</b>   | 792 000 Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>      |

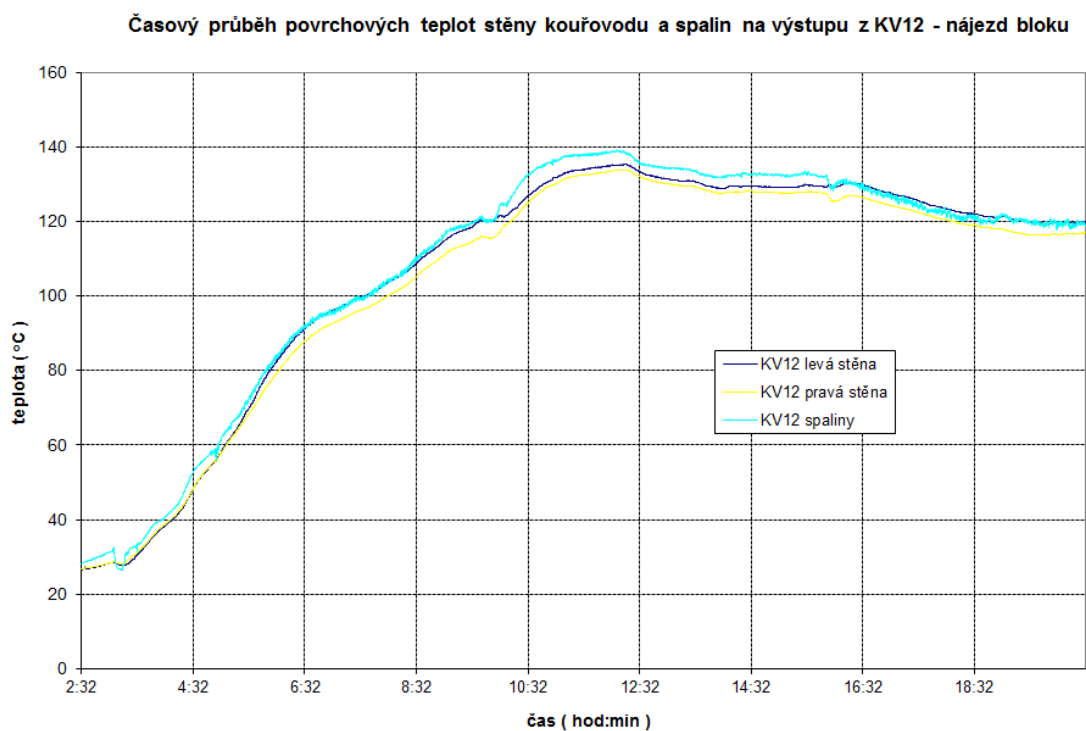
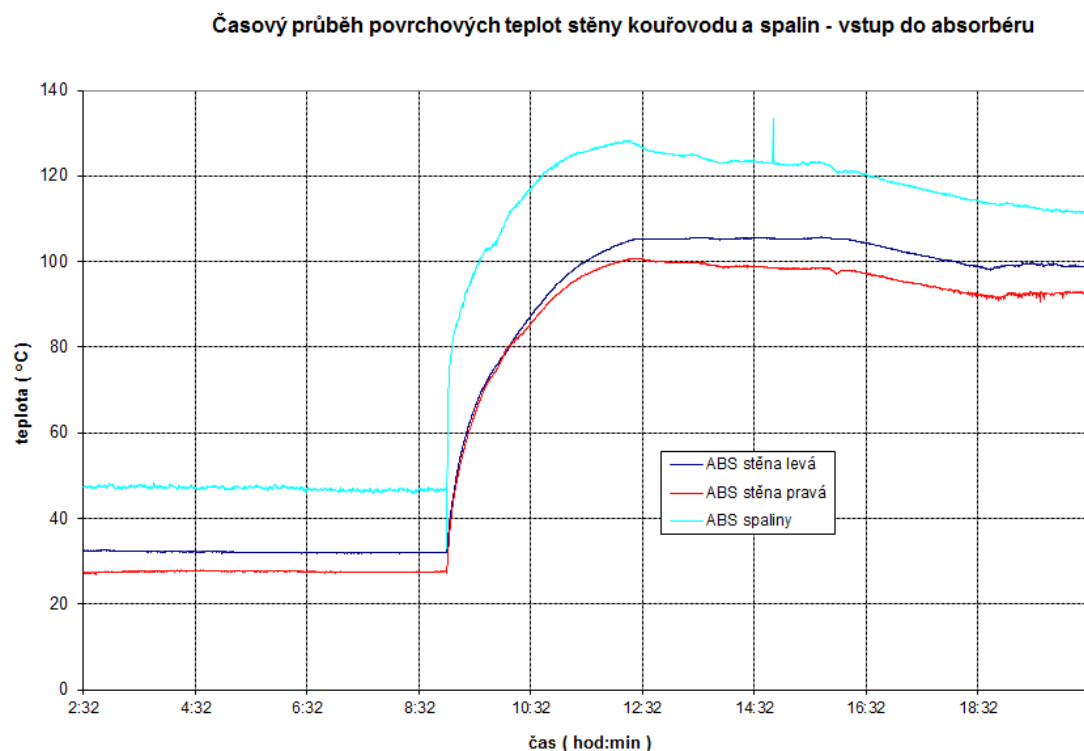
*Tab. 6.4.1 - Parametry spalin naměřené*

S těmito údaji bude dále proveden výpočet výkonu výměníku pro nejnižší teplotu (teplota 110 °C), protože toto je opravdu reálná hodnota při všech provozních stavech kotle. Dále uvádím tabulku naměřených hodnot během výkonu kotle 200 MWt. Jedná se o měření teplot během jednoho měřicího dne včetně množství kyslíku na vstupu a oxidu siřičitého (viz Tab. 6.4.2). [15]

| čas              | T na vstupu<br>do<br>absorbéru A | SO2 na<br>vstupu<br>odsíření | O2 na vstupu<br>odsíření |
|------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                  | °C                               | mg/Nm3                       | vol %                    |
| 8:00             | 122,96                           | 874,00                       | 7,40                     |
| 8:10             | 123,19                           | 874,00                       | 7,27                     |
| 8:20             | 123,41                           | 874,00                       | 7,40                     |
| 8:30             | 123,41                           | 874,00                       | 7,40                     |
| 8:40             | 123,41                           | 874,00                       | 7,40                     |
| 8:50             | 123,41                           | 874,00                       | 7,53                     |
| 9:00             | 123,41                           | 853,00                       | 7,54                     |
| 9:10             | 123,41                           | 832,00                       | 7,43                     |
| 9:20             | 123,41                           | 872,40                       | 7,43                     |
| 9:30             | 123,19                           | 872,40                       | 7,56                     |
| 9:40             | 122,96                           | 872,40                       | 7,56                     |
| 9:50             | 122,96                           | 872,40                       | 7,29                     |
| 10:00            | 122,96                           | 872,40                       | 7,54                     |
| 10:10            | 122,96                           | 872,40                       | 7,51                     |
| 10:20            | 122,96                           | 872,40                       | 7,37                     |
| 10:30            | 122,96                           | 872,40                       | 7,62                     |
| 10:40            | 123,19                           | 872,40                       | 7,63                     |
| 10:50            | 123,41                           | 872,40                       | 7,37                     |
| 11:00            | 123,86                           | 892,40                       | 7,37                     |
| 11:10            | 124,09                           | 892,00                       | 7,49                     |
| 11:20            | 124,31                           | 871,60                       | 7,37                     |
| 11:30            | 124,54                           | 891,80                       | 7,64                     |
| 11:40            | 124,76                           | 871,60                       | 7,65                     |
| 11:50            | 124,76                           | 871,60                       | 7,39                     |
| 12:00            | 124,76                           | 892,20                       | 7,67                     |
| 12:10            | 125,21                           | 872,00                       | 7,43                     |
| 12:20            | 125,21                           | 872,00                       | 7,68                     |
| 12:30            | 125,66                           | 872,00                       | 7,55                     |
| 12:40            | 125,66                           | 872,00                       | 7,42                     |
| 12:50            | 125,66                           | 892,20                       | 7,42                     |
| 13:00            | 125,66                           | 912,40                       | 7,55                     |
| 13:10            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| 13:20            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| 13:30            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| 13:40            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| 13:50            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| 14:00            | 125,66                           | 912,40                       | 7,42                     |
| <b>minimální</b> | 122,96                           | 832,00                       | 7,27                     |
| <b>maximální</b> | 125,66                           | 912,40                       | 7,68                     |
| <b>průměrná</b>  | <b>124,21</b>                    | <b>881,17</b>                | <b>7,47</b>              |

Tab. 6.4.2 - Parametry spalin teplota, kyslík, oxid siřičitý – naměřené hodnoty

Dále byla provedena analýza teplot stěn na kouřovodu na vstupu do absorbéru během najetí a provozu bloku (viz Obr. 6.4.1). [15]



*Obr. 6.4.1 - Teplot spalin, stěn kouřovodu - grafy*

## 6.5 Výpočet tepelného výkonu spalín

*Neveřejná část textu + tabulka (text je součástí kapitoly 6.5 v literatuře [18])*

**Příklad výpočtu:**

$$Q_t = V_{sp} \cdot c_{v.sp} \cdot (t_{sp2} - t_{sp1}) \text{ [kW]} \quad (31)$$

$V_{sp}$  = objem spalín přepočtený na střední teplotu ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$c_{v.sp}$  = vypočtená střední měrná tepelná kapacita spalín dle složení ( $kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$ ) (32)

$t_{sp2}$  = teplota spalín na vstupu ( $^{\circ}C$ )

$t_{sp1}$  = teplota spalín na výstupu ( $^{\circ}C$ )

$$c_{v.sp} = \text{složka spalín} \cdot \text{tabulková entalpie střední teploty} + .. + ... = \quad (33)$$

$$c_{v.sp} \text{ vypočtená} = 1,371 \text{ kJ} \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$$

Entalpie spalín - vyhledány v tabulce

$$t_{stred} = \frac{t_{sp1} + t_{sp2}}{2} [^{\circ}C] = \quad (34)$$

*Neveřejné číslo (číslo je součástí kapitoly 6.5 v literatuře [18])*

$$Q_t = V_{sp} \cdot c_{v.sp} \cdot (t_{sp2} - t_{sp1}) \text{ [kW]} = \quad \text{kW} \quad (35)$$

*Neveřejné číslo (číslo je součástí kapitoly 6.5 v literatuře [18])*

## 7 POUŽITÉ ČERPADLO (kapaliny)

Ještě předtím, než se začnu zabývat samostatnými návrhy na využití tepla a výpočty výměníků, je nutno říci, že bude použito stávajícího oběhového čerpadla (viz Obr. 7.1.1) pro vnitřní médium (demineralizovanou vodu) v novém výměníku. Důvodem je snížení cenové nákladnosti celé investiční akce. Snižuje se nám tedy volnost návrhu průtoku kapaliny v trubkách navrhovaného výměníku. Popíšeme si základná parametry původního cirkulačního čerpadla (viz Tab. 7.1.1). [15; 16]

*Neveřejná tabulka (tabulka je součástí kapitoly 7 v literatuře [18])*

*Tab. 7.1.1 - Parametry použitého oběhového čerpadla*

*Neveřejný náčrt (náčrt je součástí kapitoly 7 v literatuře [18])*

*Obr. 7.1.1 - Náčrt použitého cirkulačního čerpadla*

## 8 NÁVRH VYUŽITÍ TEPLA Z VÝMĚNÍKU V LETNÍM A ZIMNÍM OBDOBÍ

### 8.1 Obecné možnosti využití

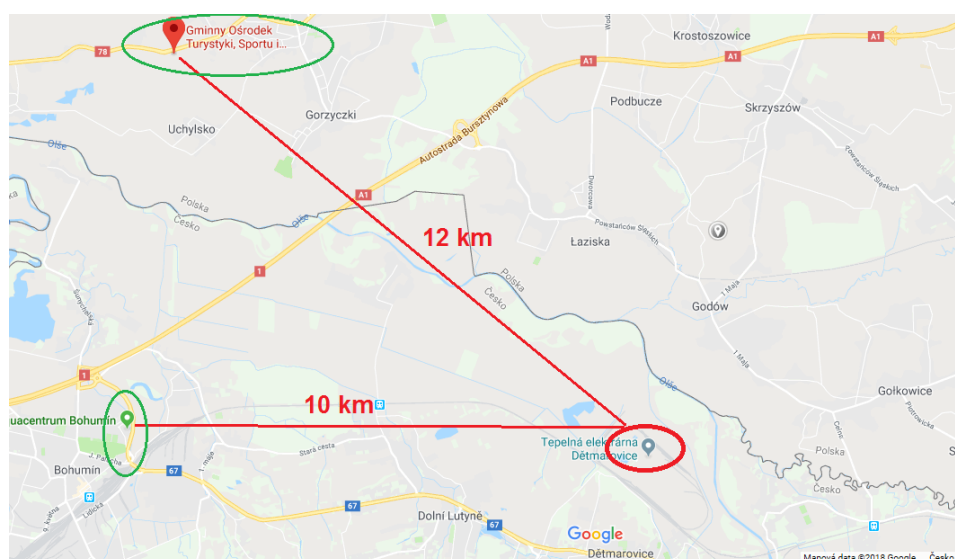
V aktuální fázi jsem tedy dospěl k výsledkům, jaké parametry mají spaliny, které nám budou do výměníku vstupovat a znám požadavky na jaké parametry se musím dostat za výměníkem. Zním tedy i jejich teplotní spád. Pro další výpočty a určení je pro mě důležité vědět, co bude v tomto výměníku proudit. Nyní se proto začnu zabývat analýzou, kam vzniklé teplo, či mohu-li říci energii, umístit, ať zvýším účinnost bloku nebo zisk firmy. Začneme úvahou, že ze spalin můžeme získat maximální teplotu proudícího média v trubkách odhadem do 100 °C.

Podíváme-li se na jednotlivé teploty médií bloku, zjistíme, že jedinou možnou variantou využití tepla je umístění ohřevu napájecí vody, jestliže chceme zvýšit účinnost bloku. V tomto teplotním pásmu se pohybujeme mezi kondenzačním čerpadlem a nízkotlakou regenerací – nízkotlakým ohřívákem napájecí vody.

Druhou variantou umístění je využití tohoto tepla pro teplárenství. Dětmárovice vytápí své objekty v areálu, plus vytápí také karvinskou část Orlová.

Obě varianty jsou použitelné v obou ročních obdobích. Nyní se pokusím na teoretické bázi vysvětlit, jak toto využít v konkrétním ročním období. Po prostudování mapy (viz Obr. 8.1.1) a zmapování firem z okolí je toto teplo těžce prodejně.

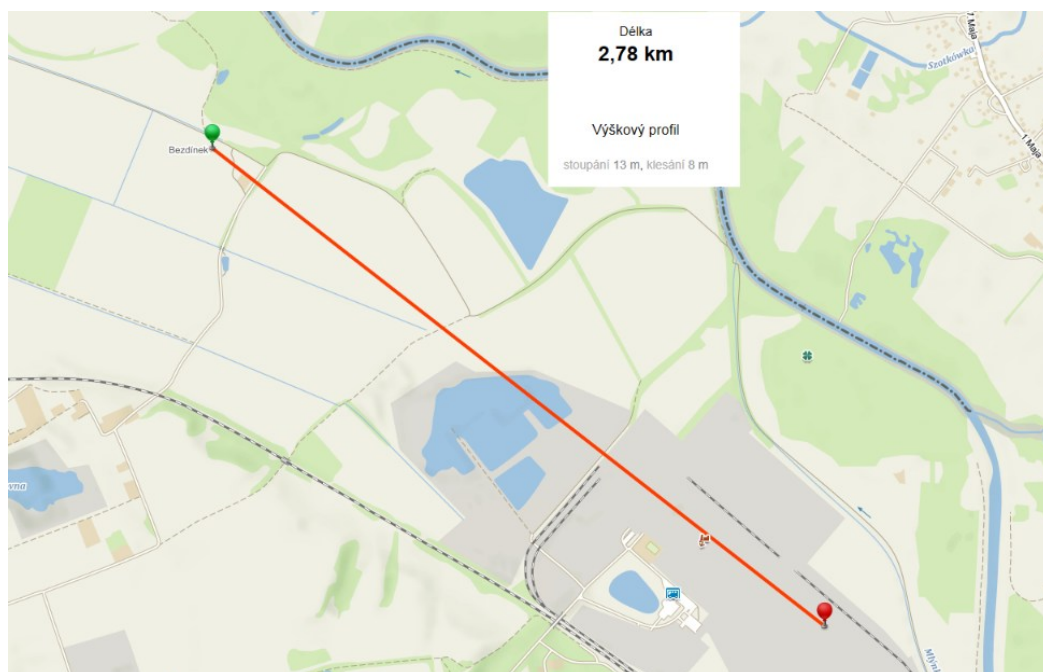
Jednou z možností by bylo také například vytápění aquaparku. Podívejme se tedy na mapu okolí. [15; 16; 3]



Obr. 8.1.1 - Vzdálenosti navrhovaných projektů – mapa [převzato z <http://www.mapy.cz>; upraveno]



Mnohem větší budoucnost má napojení se na vytápění skleníků pro pěstování zeleniny. Toto je aktuální záměr investora společnosti NWT ze Zlína. Investor tento záměr odhalil teprve na sklonku roku 2018. Toto řešení je reálné proto, že je možné splnit výstavbu dopravní cesty (potrubí) za rozumnou cenu. Bohužel k tomuto záměru se blíže nemohu vyjádřit. Jedná se o dohody mezi společností ČEZ, a.s. a investorem. Z technického hlediska ale musím upozornit na nedostatky. Může se stát, že v určitých obdobích nebude tato společnost odebírat teplo. Nelze dopředu sloučit harmonogram provozu bloku a provozu tohoto skleníku. Dá se předpokládat, že tepelný výkon z odsíření bude mnohem větší, než daný projekt spotřebuje. Musíme také zajistit připojení jiné možnosti vytápění. Projekt by se tedy musel propojit s vytápěcí soustavou Orlové, nebo by se musel přidat parní výměník napojený na páru. Dále je nutné využít přebytečné teplo a vytvořit čerpací stanici pro zvýšení tlaku v závislosti na výškovém profilu a tlakových ztrátách, jak napoví mapa uvedená níže (viz Obr. 8.1.2). [15; 16; 3; 4]



Obr. 8.1.2 - Projekt vytápění skleníků – mapa [převzato z <http://www.mapy.cz>; upraveno]

O této skutečnosti také informoval článek v novinách (viz Obr. 8.1.3), který níže částečně cituji pro věrohodnost a také poslední vyjádření společnosti ČEZ, a.s. na svých interních stránkách.

# Lidé najdou práci ve sklenících

**V** lokalitě Bezděnek, nedaleko od místa, kde v minulosti stávala zemědělská usedlost, začala zlínská firma budovat moderní skleníky. Farma Bezděnek bude za využití moderních technologií pěstovat 12 měsíců v roce chutnou, čerstvou a lokální plodovou zeleninu zejména pro tuzecký trh.

Generálním dodavatelem, investorem a provozovatelem je zlínská technologická skupina NWT, která má s výstavbou a provozem skleníků několikaleté zkušenosti u nás i na Slovensku. Po dokončení skleníku nabídne farma Bezděnek až 150 nových celoročních pracovních míst pro místní lidi s jednorázovým provozem většinou od pondělí do pátku. První sklizeň rajčat je plánována na přelom roku 2018/2019.

Vzhledem k rozsáhlosti projektu, ale především z důvodu času, který chce farma Bezděnek plnohodnotně věnovat zaškolení nových zaměstnanců při rozběhu provozu, bude výstavba probíhat ve dvou etapách (2018 a 2019).



bylo během celého roku více lokálně vypěstované zeleniny nejlepší možné chuti. Věříme, že zde v místě najdeme šikovné lidi, které bude práce v zemědělství opravdu bavit," říká Jiří Stodůlka z NWT a zároveň člen představenstva české odbytové organizace Čerstvě utřeno.

ním i horizontálním směru. „Většinu spotřeby vody pro závlivu pokryje dešťová voda," popsal Stodůlka. „Navíc to, že pěstujeme lokálně, pro zákazníky v České a Slovenské republice, minimalizuje emise z dopravy," doplňuje Stodůlka.

*Obr. 8.1.3 - Skleníky - Článek z novin [převzato z citace 5]*

Dalším projektem by mohla být například výstavba termálních lázní (viz Obr. 8.1.4). Jen pro nástřel si zkusme vypočítat, jaká je energetická náročnost ohřevu vody. Pro ilustraci uvádím výpočet tepelných ztrát vzniklých na plaveckém bazénu s rozměry 50 x 25 m a průměrnou hloubkou vody 1,5 m. Objem bazénu je tedy 1875 m<sup>3</sup>. U takového bazénu představují ztráty vypočtené jiným výzkumem přibližně 5 kWh/m<sup>3</sup> za hodinu. Předpokládejme tedy, že termální lázně budou mít ztrátu obdobnou. Množství vody stanovíme na pětinasobek. Tedy cca 9375 m<sup>3</sup>. To představuje hodinovou ztrátu 46 800 kWh. Pro korekci berme v potaz, že termální lázně budou mít díky vyšším teplotám tepelnou ztrátu dvojnásobnou. Dostáváme se tedy na hodnotu přibližně 46 MW/h. [15; 16; 3; 2]

## Předběžný zjednodušený výpočet spotřeby energie na ohřívání vody v bazénu:

Měrná tepelná kapacita vody

$$c_p = 4186 \text{ J/kg K}$$

### Výpočet energie:

$$E = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (36)$$

Beru v potaz, že obsah tří bazénů bude přibližně 10000 m<sup>3</sup> s teplotním rozdílem 1 °C

$$E = 10\,000\,000 \cdot 4186 \cdot 1 = 41\,860\,000 \text{ J} = 41\,860 \text{ MJ to se rovná cca 41 MW/h.}$$



*Obr. 8.1.4 - Aquapark (ilustrační foto)*  
[převzato z <http://www.modraruze.cz/aquapark-uherske-hradiste>]

Další výzkum je v současné době zbytečný. Po projednání se zástupci společnosti ČEZ, a.s. je zbytečné tyto záměry rozšiřovat. Nastínil jsem využití tepla pro ohřev vagónů s uhlím v zimním období (aktuálně vytápěné z neblokované výměňkové stanice, kterou podrobněji popíši níže) nebo konstrukční úpravu topné soustavy vlastních objektů. Po důkladném zvážení se zaměřím pouze na dvě varianty zmíněné na začátku. Jedná se tedy o ohřev napájecí vody a ohřev teplé užitkové vody pro vytápění Orlové.

U obou variant se jedná o již tekoucí kapalinu o určité teplotě, kterou můžeme zvýšit přidáním energie kapaliny proudící v potrubí výměníku instalovaného do odsiřovací linky. [15; 16; 2]

## 8.2 Zvýšení účinnosti bloku elektrárny

Nejprve se zaměřím na napájecí vodu. Voda z kondenzátoru, která je poháněná kondenzačním čerpadlem, má teplotu v závislosti na ročním období cca 55 až 60 °C. Velikou výhodou je, že tato voda je demineralizovaná. Z důvodu malého prostoru (viz Obr. 8.2.1) lze tedy uvažovat i o variantě, že nebude do soustavy zařazen další výměník, ale provede se pouze konstrukční úprava přes rozdělovač přímo do výměníku v odsiřovací lince. Pro



zajištění dostatečné cirkulace použijeme stávající čerpadlo umístěné v původním konceptu. Toto umožní snížit náklady na rekonstrukci a systém bude variabilnější. [15; 16]



*Obr. 8.2.1 - Nízkotlaká regenerace napájecí vody*

**Níže uvádím uvažované grafické schéma zapojení (viz Obr. 8.2.2):**

Předpokládám doplnění trojcestného ventilu pro efektivní regulaci posílenou uzavíracím ventilem z důvodu bezpečnosti. [15; 16]

*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.2.2 - Připojení za 2. stupeň kondenzačních čerpadel - schéma*

### **Detail zapojení (viz Obr. 8.2.3):**

*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.2.3 - Detail připojení za 2. stupeň kondenzačních čerpadel - schéma*

## **8.3 Vytápění Orlové – výměníková stanice**

Jelikož Elektrárna Dětmarovice rovněž dodává teplo pro výměníkové stanice, které vytápějí v karvinské části Orlová přibližně 9 000 bytů a zároveň ve výměníkových stanicích dochází k ohřevu teplé vody, stojí za to uvažovat i tomto odběru jako o možném uplatnění získaného tepla. Vzdálenost mezi Orlovou a elektrárnou je přibližně 5 km. Teplo získané z bloku jde na výměníkovou stanici, kde je pomocí teplé vody transportováno do Orlové. Výměníková stanice elektrárny má nainstalovaný tepelný výkon 104 MW tepelných. V současné době je celá soustava také využívána jako rekuperační soustava ohřevu a v letních měsících toto vydrží i po určitou dobu dne bez dalšího zdroje tepla. V případě, že nejede blok, pak je teplo dodáváno plynovým kotlem postaveným v areálu elektrárny. Horká voda má teplotní parametry 150/60(55) °C. Trasa je vedena nadzemním potrubím 2x průměr 400 mm. Celkové horkovodní trasy měří přes 16 km a je zde 47 výměníkových stanic. Z těchto výměníkových stanic jsou ovšem ale také vytápěné objekty Elektrárny Dětmarovice anebo dodávka tepla v páře pro rozmrazovací tunely vagonů. Výměníkové stanice elektrárny jsou rozděleny na část blokovou, neblokovou, dohřívací, sekundární a část vnitřního chlazení.

Zaměříme-li se na neblokovou část výměníkové stanice, nachází se zde špičkové a základní ohříváky. Jsou zde také umístěna tři oběhová čerpadla na 0 metrech s frekvenčním měničem pro regulaci a nádrž doplňování média 2x po 80 m<sup>3</sup>. Nalezneme zde i expandér, redukční stanici páry s přímým vstřikem chladicí vody nebo kondenzační čerpadla. Páru pro ohřev oběhové vody v neblokových ohřívácích odebíráme z rozdělovače, na který páru přivádíme ze sběrných bloků nebo z najížděcí kotelny.

Zkusím nyní proto prozkoumat parametry jednotlivých ohříváků a shrnout celkové teplotní bilance, energetickou náročnost a závěrem rozhodnout, kam mé zmíněné teplo připojím.

V první řadě tedy rozeberu blokovou výměňkovou stanici, níže uvádím tabulky (viz Tab. 8.3.1 a Tab. 8.3.2), z nichž je patrné, že jsme mimo možný rozsah použitelnosti.

[15; 16]

**Základní ohřívák:**

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Výhřevná plocha</b>             | 200 m <sup>2</sup>      |
| <b>Tlak topné páry</b>             | max. 343 kPa            |
| <b>Parní prostor dimenzován na</b> | 600 kPa/300 °C          |
| <b>Vodní prostor dimenzován na</b> | 2,5 MPa/200 °C          |
| <b>Množství ohřívání vody max.</b> | 300 m <sup>3</sup> /hod |
| <b>Počet kusů</b>                  | 4                       |

*Tab. 8.3.1 - Parametry základního ohříváku – bloková výměňková stanice*

**Špičkový ohřívák:**

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Výhřevná plocha</b>             | 200 m <sup>2</sup>      |
| <b>Tlak topné páry</b>             | max. 785 kPa            |
| <b>Teplota topné páry</b>          | 320 °C                  |
| <b>Parní prostor dimenzován na</b> | 1,6 MPa/325 °C          |
| <b>Vodní prostor dimenzován na</b> | 2,5 MPa/200 °C          |
| <b>Množství ohřívání vody</b>      | 300 m <sup>3</sup> /hod |
| <b>Počet kusů</b>                  | 4                       |

*Tab. 8.3.2 - Parametry špičkového ohříváku – bloková výměňková stanice*

Přejdeme proto do neblokované výměňkové stanice. Nejprve si znovu provedu výpis složek pro bližší konstrukční upřesnění možnosti připojení teplé vody z výměníku odsířovací jednotky (viz Tab. 8.3.3 a Tab. 8.3.4), [15; 16]

**Základní ohřívák:**

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Výhřevná plocha</b>             | 200 m <sup>2</sup>      |
| <b>Tlak topné páry</b>             | max. 245 kPa            |
| <b>Teplota topné páry</b>          | 175 °C                  |
| <b>Parní prostor dimenzován na</b> | 0,6 MPa/300 °C          |
| <b>Vodní prostor dimenzován na</b> | 2,1 MPa/200 °C          |
| <b>Množství ohřívané vody</b>      | 300 m <sup>3</sup> /hod |
| <b>Počet kusů</b>                  | 2                       |

*Tab. 8.3.3 - Parametry základního ohříváku – neblokovaná výměňková stanice*

**Špičkový ohřívák:**

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Výhřevná plocha</b>             | 200 m <sup>2</sup>      |
| <b>Tlak topné páry</b>             | max. 637 kPa            |
| <b>Teplota topné páry</b>          | 175 °C                  |
| <b>Parní prostor dimenzován na</b> | 1,36 MPa/325 °C         |
| <b>Vodní prostor dimenzován na</b> | 2,10 MPa/200 °C         |
| <b>Množství ohřívané vody</b>      | 300 m <sup>3</sup> /hod |
| <b>Počet kusů</b>                  | 2                       |

*Tab. 8.3.4 - Parametry základního ohříváku – neblokovaná výměňková stanice*

**Oběhové čerpadlo:**

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| <b>Průtok</b>               | 500 m <sup>3</sup> /hod. |
| <b>Teplota média</b>        | <b>60 °C (55 °C)</b>     |
| <b>Tlak v sání</b>          | 0,5 - 1,0 MPa            |
| <b>Max. tlak na výtlaku</b> | 2,5 MPa                  |
| <b>Kusů</b>                 | 3                        |

*Tab. 8.3.5 - Parametry oběhových čerpadel neblokované výměňkové stanice*



Zaměřím-li se na poslední tabulku oběhového čerpadla (viz Tab. 8.3.5), dojdou k výsledku, že voda, která se vlastně vrací z výměníkové stanice v Orlové, má teplotu přibližně 55 až 60 °C v závislosti na ročním období. Průtočné množství odpovídá vizi mého návrhu, o kterém se zmíním níže. Jelikož tato čerpadla jsou navrhovaná pro tuto teplotu, nemohu provést ohřev této vody. Připadá pak v úvahu varianta ohřátí média až za těmito oběhovými čerpadly. Provedu si proto grafický návrh možného připojení na obrázku (viz Obr. 8.3.1): [15; 16]

*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.3.1 - Připojení do otopné soustavy Orlové – schéma*

### Detail zapojení (viz Obr. 8.3.2):

*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.3.2 – Detail připojení do otopné soustavy Orlové - schéma*

Ještě se vrátím k tomu, proč jsem použil deskový výměník v nákresu. Používat demineralizovanou vodu pro horkovodní síť je ekonomicky nemožné. Naopak při výstavbě nového výměníku není vhodné použít chemický neupravenou vodu z důvodu zanášení potrubí, které není možné mechanicky vevnitř očistit. Pravidelné chemické čištění také není vhodné. Proto zde chci zařadit takzvaný vnitřní okruh mezi deskovým výměníkem a výměníkem použitým v odsiřovací lince.

*Neveřejné parametry (parametry jsou součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Instalovaný maximální tepelný výkon</b>                      | MW        |
| <b>Přibližná výkonová potřeba - zima</b>                        | MW        |
| <b>Přibližná výkonová potřeba - léto</b>                        | MW        |
| Jedná se o statistické hodnoty získané od společnosti ČEZ, a.s. |           |
| <b>Přibližné provozní teploty</b>                               |           |
| <b>ZIMA</b>   | 150/60 °C |
| <b>LÉTO</b>   | 80/55 °C  |
| <b>Jmenovitý tlak sítě</b>                                      | 2,50 MPa  |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Konstrukční tlak sítě</b>             | 2,50 MPa                |
| <b>Konstrukční teplota sítě</b>          | 200 °C                  |
| <b>Maximální oběhové množství (zima)</b> | 800 m <sup>3</sup> /hod |
| <b>Délka horkovodní sítě</b>             | 12 km                   |
| <b>Vodní obsah sítě</b>                  | 2000 m <sup>3</sup>     |

*Tab. 8.3.6 - Parametry otopné soustavy části Orlová*

*Neveřejný graf a text (text a graf je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.3.3 – Energetická spotřeba otopné soustavy Orlové - graf*

#### **Návrh deskového výměníku:**

Je zbytečné tvořit vlastní výpočty. Dodavatel, který vyhraje soutěž, si provádí svůj výpočet a smlouvou se deklaruje splnění požadovaných parametrů. Níže tedy uvádím známé parametry (viz Tab. 8.3.7), potřebné pro vypsání zakázky na deskový výměník. [15; 16]

*Neveřejná tabulka (tabulka součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Tab. 8.3.7 - Data pro návrh deskového výměníku*

Pro orientaci uvádím dostupné informace od výrobce o rozměrech (viz Tab. 8.3.8). Např. výrobce ARES nabízí deskový výměník AWG8M s výkonem 10MW. Toto by znamenalo instalaci přibližně ..... výměníků. Hodnoty jsou stanoveny pro vyšší teplotu ohřívaného média. Proto je tento návrh orientační. [17]

#### Návrh počtu deskových výměníků: [17]

...x typ AWG8M s výkonem 10MW

....x typ A6M s výkonem 5 MW

*Neveřejné číslo (číslo součásti kapitoly 8 v literatuře [18])*



*Obr.8.3.4 - Deskový výměník (ilustrační foto)*

[Převzato z <http://www.deskove-vymeniky.cz/>]

#### Orientační rozměry:

| typ   | výška<br>[mm] | šířka<br>[mm] | vývod DN |
|-------|---------------|---------------|----------|
| A6M   | 1952          | 608           | 150      |
| AWG8M | 2505          | 800           | 200      |

*Tab. 8.3.8 - Rozměry deskových výměníků*

## 8.4 Propojení obou variant pro maximální ekonomické zhodnocení

Jelikož ani toto řešení nesplňuje očekávání pro letní provoz, nezbyvá než konstrukčně propojit obě předchozí varianty, schematicky nakreslené níže (viz Obr. 8.4.1), pro splnění

zadání, což znamená nejlépe a plnohodnotně využít přebytečné teplo z výměníku v odsiřovací lince. Jelikož u druhé varianty je nutné použít pro propojení deskový výměník, nelze použít propojení napájecí vody přímo do výměníku. Musíme tedy do prvního konstrukčního řešení přidat rovněž deskový výměník. Při celkovém zhodnocení je tato varianta velice nákladná na investice. Jednalo by se o rozsáhlé provádění činnosti úprav včetně mnohadenní odstávky některých výrobních bloků. Znamenalo by to taktéž doplnění nových předpisů, proškolení obsluhy, zavedení aktualizace řídicích systémů, včetně vedení relativně dlouhých nových potrubních tras. Je tedy na zvážení společnosti ČEZ, a.s., zda je v současné nedobré situaci provozu uhelných elektráren ochotna investovat tyto finance nebo provádět pouze drobné konstrukční úpravy. Proto zatím tato varianta nebyla více zkoumána a může být předmětem další diplomové práce. [15; 16]

*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.4.1 - Kombinované zapojení výměníku - schéma*

**Detail zapojení (viz Obr. 8.4.2):**

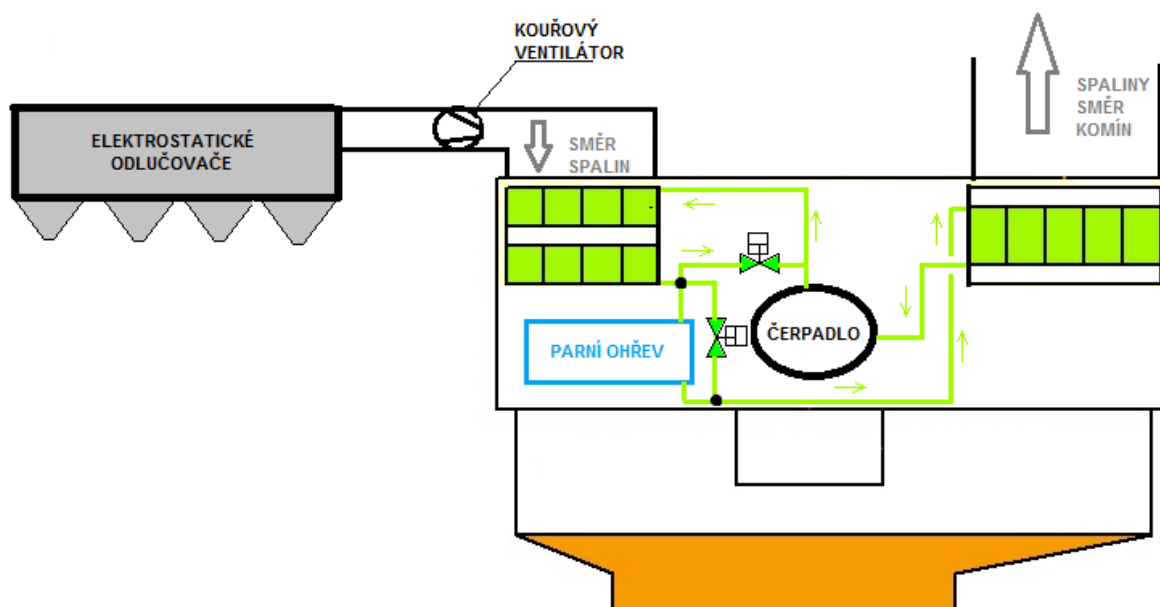
*Neveřejné schéma (schéma je součástí kapitoly 8 v literatuře [18])*

*Obr. 8.4.2 – Detail kombinovaného zapojení výměníku - schéma*

## 9 SCHÉMA AKTUÁLNÍHO ZAPOJENÍ VÝMĚNÍKU

V poslední fázi mé práci se zabývám konkrétněji konstrukcí stávajícího výměníku a výpočtem nového výměníku. Pro výpočet nového výměníku bylo použito všech získaných hodnot v předchozích kapitolách. Jedná se o naměřenou teplotu spalín, složení spalín, požadované průtoky či materiály.

Zaměřím-li se na aktuální podobu výměníku, tak je řešení následovně (viz Obr. 9.1.1). Výměník ochlazující vstupní spaliny do absorbéru je rozdělen do 4 sekcí. Voda uvnitř obíhá pomocí odstředivého čerpadla a rovnou přechází do druhého výměníku, který naopak spaliny znovu ohřívá, aby se dostaly nad teplotu kondenzace. V případě, že energie získaná v prvním výměníku nepostačuje, je zde také parní ohřev pro optimální regulaci teploty. Spaliny se na výstupu ohřívají před vstupem do komínu na dalším výměníku (přihříváku spalín). V případě, že teplota vody proudící do druhého výměníku je nedostatečná, je ještě do soustavy použit parní ohřev. [15; 16]



Obr. 9.1.1 – Původní zapojení výměníku – schéma



## 10 SCHÉMA PLÁNOVANÉHO ZAPOJENÍ VÝMĚNÍKU

Předpoklad nového uspořádání (viz Obr. 10.1.1) je koncipován s vypouštěním spalín do chladících věží. [15; 16]

*Kapitola není veřejná (kapitola je součástí kapitoly 10 v literatuře [18])*

*Obr. 10.1.1 – Předpokládané zapojení výměníku, navrhovaná realizace – schéma*

Stávající konstrukce má následující rozměry a vzhled s popisem umístění nových prvků (viz Obr. 10.1.2): [15; 16]

*Obr. 10.1.2 – Návrh umístění výměníku v odsiřovací lince - schéma*

## **11 VÝPOČET NOVÉHO VÝMĚNÍKU**

V této kapitole jsem provedl orientační výpočet nového výměníku. Výpočet proveden v programu Excel, stěžejní výsledky jsou uvedeny níže. Program přiložen na CD diplomové práce. Vstupní data byla následující (viz Tab. 11.1.1). [8; 9; 13; 16]

*Tabulka není veřejná (tabulka je součástí kapitoly 11 v literatuře [18])*

*Tab. 11.1.1 - Hodnoty spalin pro výpočet výměníku*

Provedl jsem rovněž předpokládaný výpočet změn teploty ohřívaného média (vody) pomocí tepelného výkonu spalin, množství ohřívaného média a tepelné kapacity vody. Tepelná kapacita vody volena z elektronických tabulek (viz Obr. 11.1.1): [5]

### Tepelná kapacita kapalin

|   |  |  |
|---|--|--|
| voda ▼  | Teplota: 60 °C Výpočet   | cp = 75.37 J.mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup><br>cp = 4183.8 J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> |
| t <sub>MIN</sub> = 50 °C<br>t <sub>MAX</sub> = 200 °C   | Rovnice pro výpočet, T [K]:<br>18.015*(5.602881057-.8753460700e-2*T+.1348900000e-4*T^2)<br>J.mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> |  |
| Poznámka: Od 18 do 50 °C je cp = 4183 [J/kg/K]. cp [J/kg/K] = cp [J/mol/K] / Mr [kg/mol] Mr = 0.018015 kg.mol <sup>-1</sup> |  |  |

E-tabulky, © ÚCHI VŠCHT Praha

|   |  |   |
|---|--|---|
| voda ▼  | Teplota: 55 °C Výpočet   | cp = 75.36 J.mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup><br>cp = 4182.96 J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> |
| t <sub>MIN</sub> = 50 °C<br>t <sub>MAX</sub> = 200 °C   | Rovnice pro výpočet, T [K]:<br>18.015*(5.602881057-.8753460700e-2*T+.1348900000e-4*T^2)<br>J.mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> |   |
| Poznámka: Od 18 do 50 °C je cp = 4183 [J/kg/K]. cp [J/kg/K] = cp [J/mol/K] / Mr [kg/mol] Mr = 0.018015 kg.mol <sup>-1</sup> |  |   |

E-tabulky, © ÚCHI VŠCHT Praha

Obr. 11.1.1 – Elektronické tabulky tepelné kapacity vody

Při tomto teplotním spádu jsme dosáhli ohřátí výstupního média o 35,7 °C

$$\Delta_t = \frac{Q_t}{C_{P,H_2O} \cdot m} = 35,7 \text{ °C} \quad (37)$$

$\Delta_t$  = rozdíl teplot (°C/K)

$Q_t$  = tepelný výkon (kW), dosazeno z rovnice (35)

$C_{P,H_2O}$  = měrná tepelná kapacita vody (J/kg · K)

$m$  = množství vody (kg/s) dosazeno (viz Tab. 7.1.1)

## 11.1 Výpočet

Celá kapitola čerpána ze zdroje [8; 9; 13; 15; 16]

*Neveřejné parametry (parametry součásti kapitoly 11 v literatuře [18])*

|  |            |
|--|------------|
| <b>Volené parametry trubky dle ČSN 42 5715.01</b>  |            |
| Žebra trubek se přivaří dle mého návrhu (žebrované jsou normou udávány pouze měděné trubky, které nelze z důvodu prostředí použít) |            |
|  |            |
|  |            |
| <b>Volené žebrování pro lepší prostup tepla</b>  |            |
|  |            |
|  |            |
|  |            |
|  |            |
| <b>Volené rozměry spalínového kanálu</b> (umístění výměníku - zmenšeno o manipulační prostor a spojení potrubí)                    |            |
|  |            |
|  |            |
| <b>Volené rozteče mezi trubkami</b>  |            |
|  |            |
|  |            |
|  |            |
| <b>Typ výměníku</b>  | Protiproud |

*Tab. 11.1.2 – Volené parametry navrhovaného výměníku*

Výměník souproudý není reálný při tomto teplotním spádu, proto je potřeba použít protiproudý výměník. I tak není teplotní spád nejšťastnější pro konstrukci. Rozdíl teplot je nízký, a proto budu potřebovat větší rozměry výměníku. Zvolené rozměry uvedené v tabulce (viz Tab. 11.1.2). [8; 9; 13; 16]

### Výpočet logaritmického teplotního spádu (viz Obr. 11.2.1):

*Neveřejný obrázek (obrázek je součástí kapitoly 11 v literatuře [18])*

*Obr. 11.1.2 – Logaritmický teplotní spád - schéma*

$$\Delta t_{ln} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)} = 10,6 \text{ } ^\circ\text{C} = 283,65 \text{ K} \quad (38)$$

$\Delta t_{ln}$  = logaritmický teplotní spád ( $^\circ\text{C}$ ; K)

$\Delta t_{1;2}$  = teplotní spád ( $^\circ\text{C}$ ), převzato (viz Tab. 11.1.2)

Pro výpočet plochy trubek potřebujeme nyní znát součinitel prostupu tepla K.

### Výpočet součinitele prostupu tepla:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1spal}} + \frac{1}{\alpha_{2V}} \cdot \frac{S_{voda}}{S_{spaliny}} + \varepsilon} = \text{W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (39)$$

$S_{spaliny}$  = plocha včetně žebra na straně spalin ( $\text{m}^2$ )

$S_{voda}$  = plocha na straně vody ( $= \pi \cdot d$ ) ( $\text{m}^2$ )

$\alpha_{1spal}$  = součinitel prostupu ze strany spalin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

$\alpha_{2V}$  = součinitel prostupu ze strany vody

$\varepsilon$  = poměrná zářivost – voleno 0,005 ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

### Výpočet Reynoldsova čísla pro spaliny a kapalinu:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (40)$$

$\nu$  = kinematická viskozita ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$w$  = rychlost proudění daného média ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$d$  = průměr obtékané trubky, průměr potrubí, ve kterém proudí (m) (viz Tab. 11.1.2)

*Neveřejná část výpočtu (výpočet je součástí kapitoly 11 v literatuře [18])*

## 11.2 Konečné rozměry výměníku

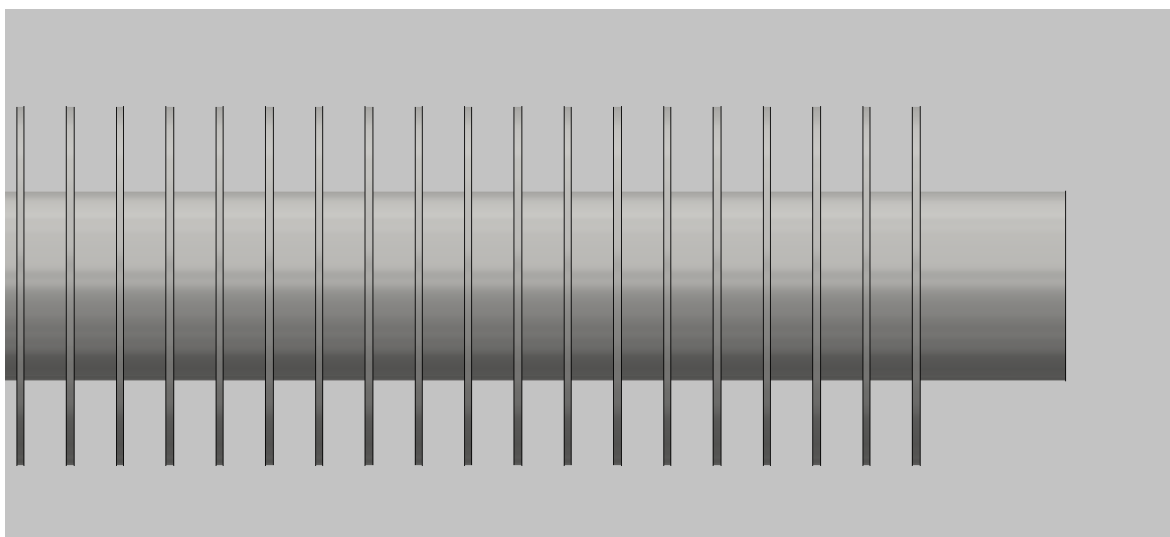
Konečné rozměry výměníku, které jsou uvedeny bez propojovacích prvků (viz Tab. 11.2.1): [8; 9; 13; 15; 16]

*Neveřejná tabulka (tabulka je součástí kapitoly 11 v literatuře [18])*

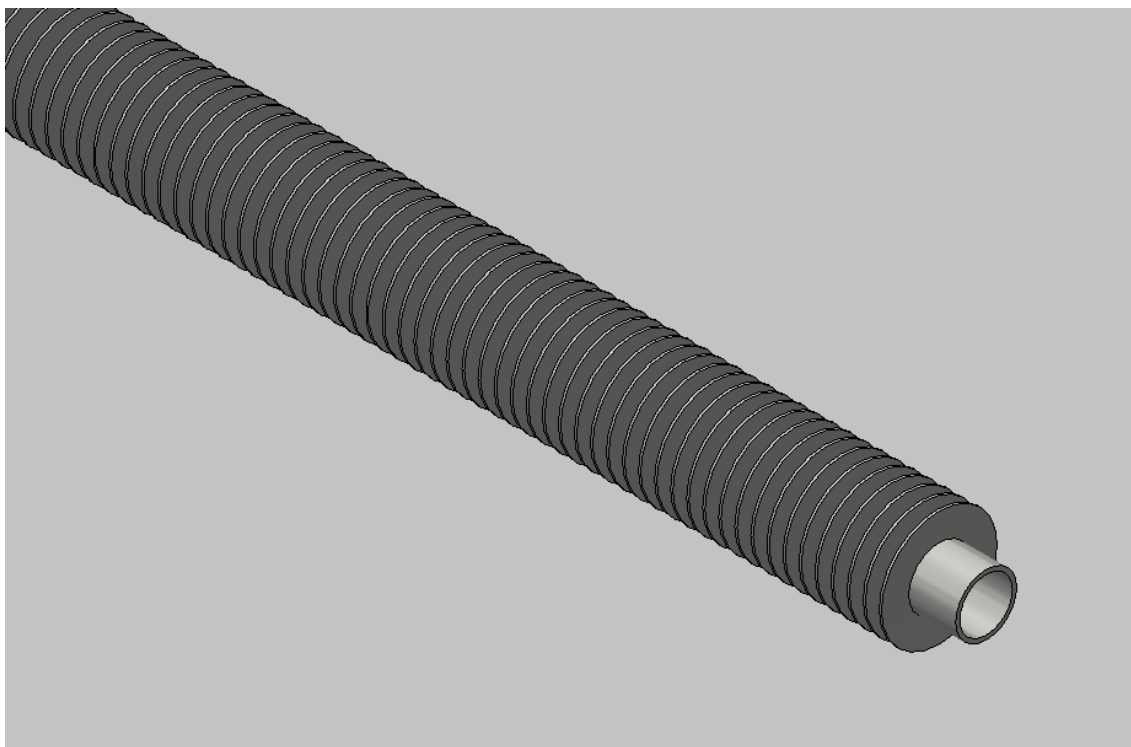
*Tab. 11.2.1 – Vypočtené základní parametry navrhovaného výměníku*

## 11.3 Grafické zobrazení navrhovaného výměníku

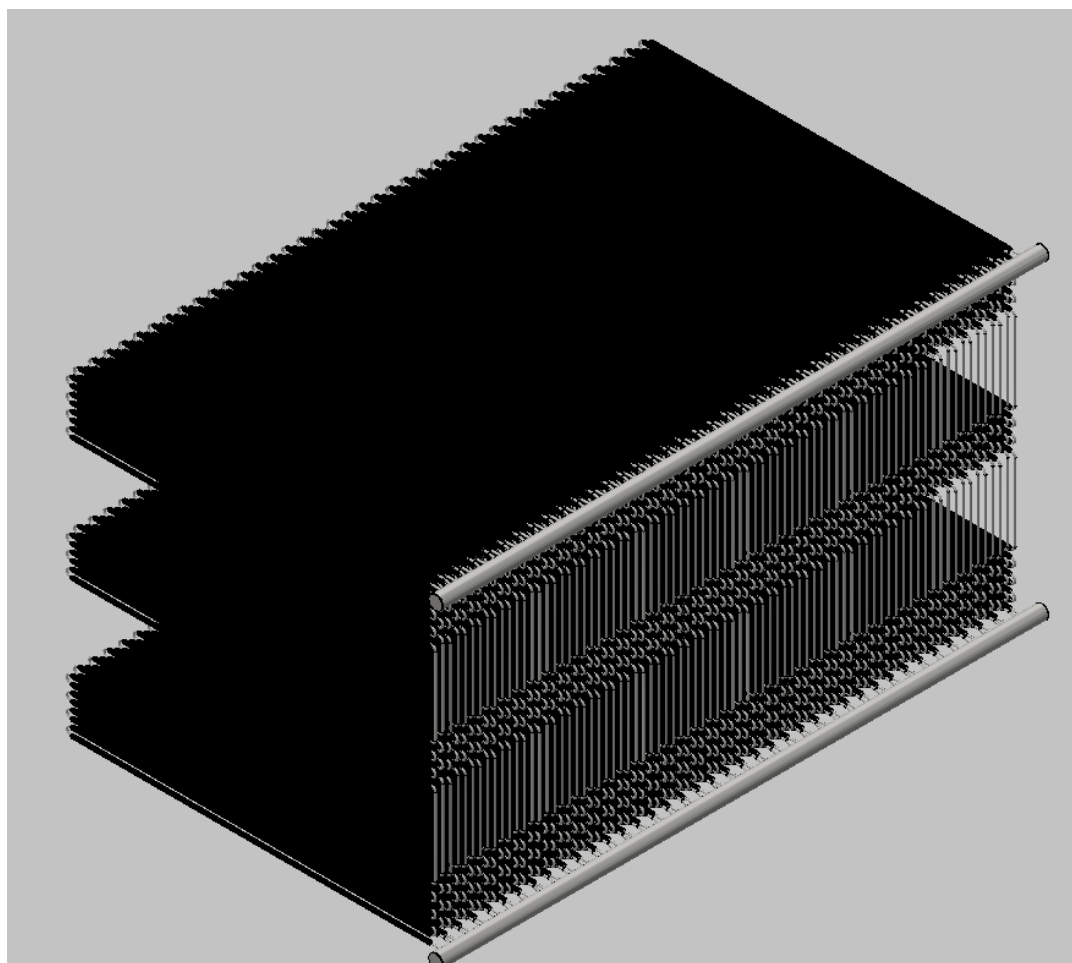
V programu INVENTOR byl zhotoven 3D model navrhovaného výměníku (viz Obr. 11.3.1 a Obr. 11.3.1). Výkresová dokumentace použité žebrované trubky a výkresu sestavy jsou součástí přílohy (viz seznam příloh – A;B uvedené v seznamu na konci této práce).



*Obr. 11.3.1 – Navrhované žebrování v 3D modelu*

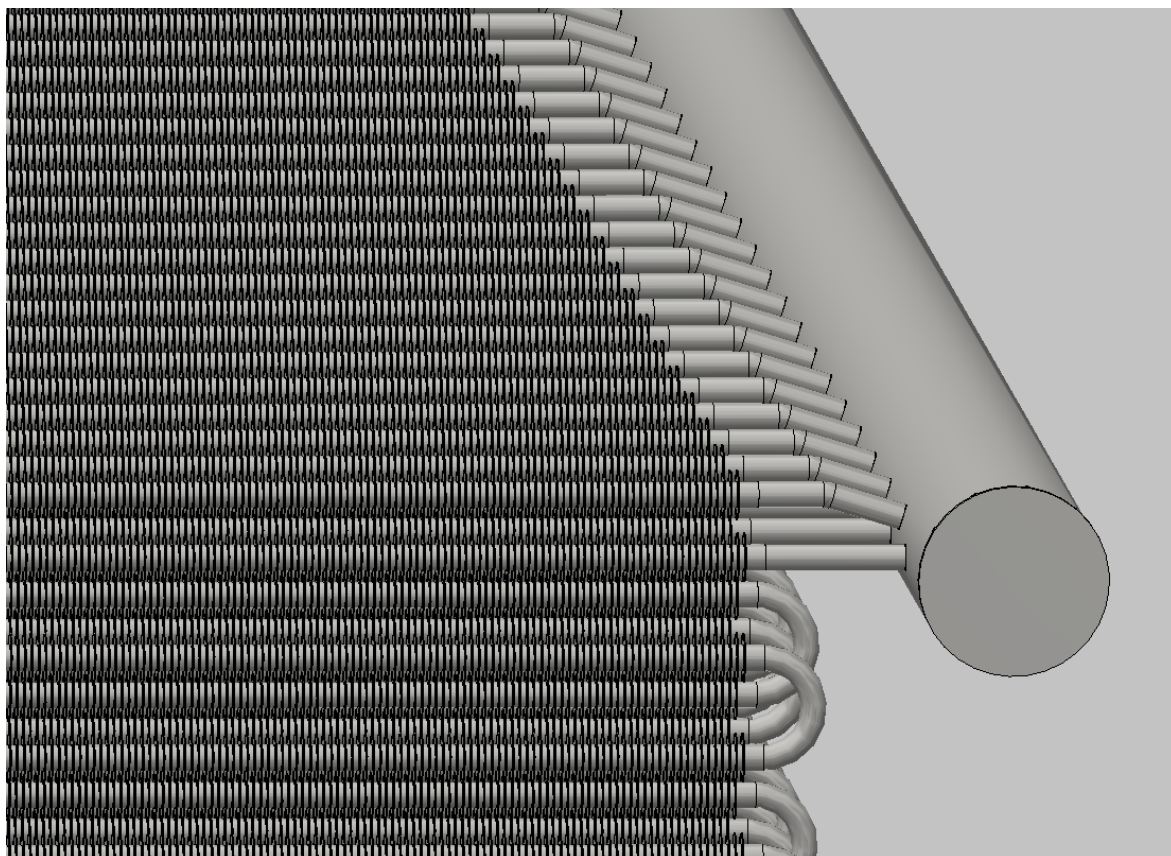


*Obr. 11.3.2 – Trubka s žebrováním v 3D modelu*

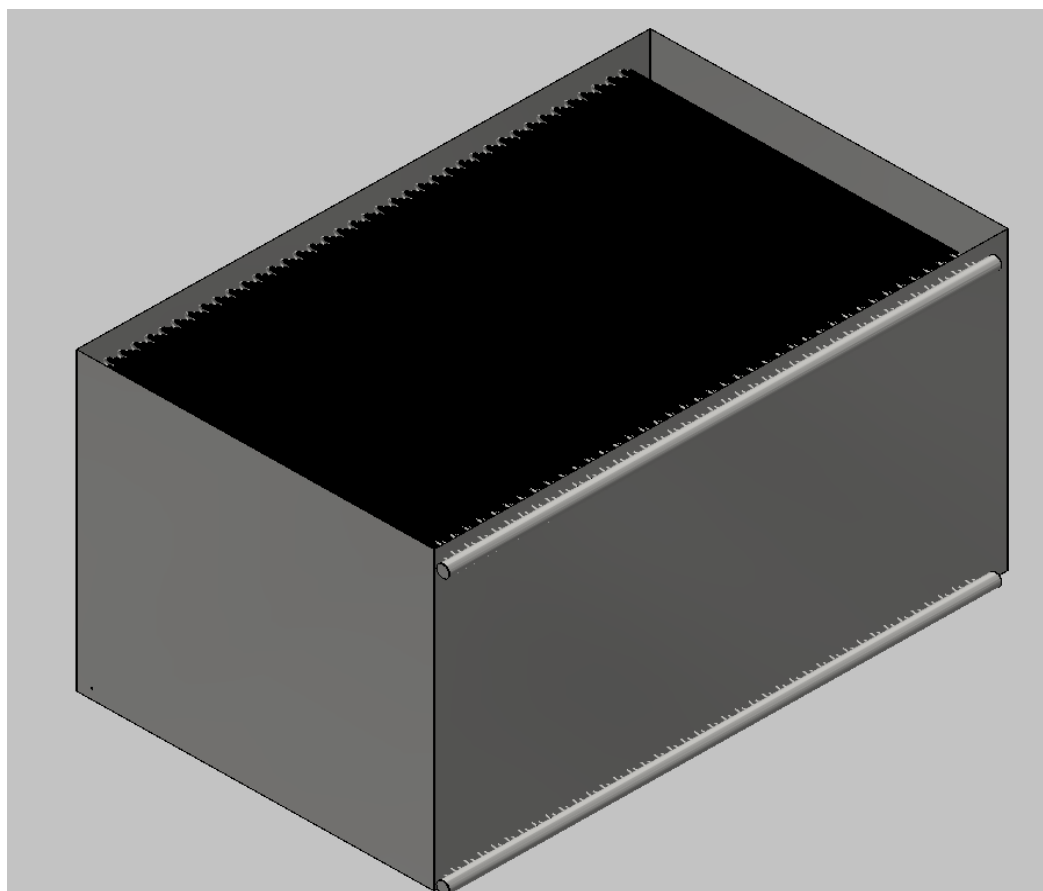


*Obr. 11.3.3 – Konečná podoba sestavy navrhovaného výměníku*





Obr. 11.3.4 – Detail zapojení navrhovaného výměníku



Obr. 11.3.5 – Navrhované umístění modelu do kanálu odsířovací jednotky

## 12 ZÁVĚR

Po důkladném rozboru aktuálního stavu odsiřovací jednotky v elektrárně Dětmarovice, potažmo jeho výměníkové části, jsem dospěl k názoru, že bude vhodné tento výměník kompletně vyměnit za nový.

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 12 v literatuře [18])*

Dle všech získaných informací a rozboru prostředí umístění výměníku doporučuji použít materiály typu duplexní antikorozi oceli, například ocel 25Cr nebo použití slitin niklu. Investiční cena ovšem bude závratná oproti stávající použité oceli. Pro snížení nákladů investiční akce je v konceptu zachováno původní cirkulační čerpadlo. Přejdeme-li k dalším rozborům a návrhům této diplomové práce, které jsou ovšem závislé na uvažované konstrukční úpravě, která zásadně změní trasu spalin z komínu na nově uvažovanou s vyústěním do chladicích věží. V tomto případě bylo v rámci této diplomové práce zjištěno, že teplo, které nám následně vznikne z ochlazení spalin z technologických důvodů do absorberu odsíření nelze v letních měsících využít pro otopnou soustavu Orlová. V zimních měsících tento problém nevzniká z důvodu dostatečné výkonové spotřeby tepla. Doporučuji tedy toto teplo využít spíše pro ohřátí napájecí vody za druhým stupněm kondenzačního čerpadla. V případě, že by provozovatel požadoval připojení tepla pro otopnou soustavu, je třeba uvažovat o doplňkovém využití tepla nebo propojení varianty vytápěcí soustavy a ohřevu napájecí vody. V případě použití do otopné soustavy je také třeba počítat s náklady na instalaci dalších deskových výměníků z důvodu špatné kvality otopné vody a možného zanesení trubkového výměníku v odsiřovací lince. Tento koncept na závěr také navrhuje nový výměník uzpůsobený pro nové podmínky.

*Neveřejná část textu (text je součástí kapitoly 12 v literatuře [18])*

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Bohumíru Čechovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě ČEZ, a.s. za výbornou spolupráci, konzultování návrhů a umožnění studijního rozvíjení. V neposlední řadě také patří poděkování mé rodině za podporu v průběhu mých studií.

V Ostravě: 21. 5. 2018



.....  
(podpis autora)

# OPRÁVNĚNÍ K INTERNÍM INFORMACÍM

ELEKTRÁRNA DĚTMAROVICE – ČEZ, a.s.



## SKUPINA ČEZ

Veškerá fotodokumentace byla pořízená s povolením společnosti ČEZ, a.s. odpovědnou osobou. Materiály pro použití této diplomové práce jsou interní záležitostí společnosti ČEZ, a.s. a slouží pro jejich další technický rozvoj v rámci modernizace.

V rámci mlčenlivosti nebudou informace a materiály k této práci a společnosti ČEZ a.s. dále šířeny třetí osobě. Proto není tato práce celým svým rozsahem veřejně přístupná.

Tento list dále slouží jako prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním této části diplomové práce, který se běžně uvádí na začátek práce. Zástupce podal k tomuto elektronické odsouhlasení.

V Ostravě: 21. 5. 2018



.....  
(podpis autora)

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Termíny a definice. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, online [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ods%C3%AD%C5%99en%C3%AD>
- [2] NAVRÁTIL, Tomáš. *Energetická bilance bazénové technologie*. Zlín, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati - Zlín. Vedoucí práce Janáčková D.
- [3] *Online mapy* [online].: seznam.cz, online [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)
- [4] *Dolnolutyňské noviny: zpravodaj březen/2018* [online]. Lutyně: obecní úřad, 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://new.dolnilutyne.org/foto/domovniky/soubor/201803271105591.PDF>
- [5] Tepelná kapacita kapalin. *Ústav chemického inženýrství* [online]. Praha: 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://vscht.cz/uchi/e\\_tabulky/cpkap.html](https://vscht.cz/uchi/e_tabulky/cpkap.html)
- [6] Materiály pro prostředí spalín. *GLOBAL INSTITUTE* [online]. 2017 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/corrosion-and-materials-selection-ccs-systems/72-material-selection-flue-gas>
- [7] HEGER, Tomáš. *Návrh zařízení pro denitrifikaci spalín metodou SNCR ve fluidním kotli* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: Diplomová práce. VŠB – Technická Univerzita Ostrava. Vedoucí práce Čech B.
- [8] PETRŮ, Lukáš. *Návrh dvoutlakého kotle na odpadní tepla za spalovací turbínou* [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: Diplomová práce. VUT - Brno. Vedoucí práce Baláš M.
- [9] JÍLEK, Radim. *Využití tepla odchozích spalín z kotle pro ohřev vody* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Vilimec L.

- [10] RACLAVSKÁ, H. *Problematika chemických látek zachycených v absorbéru*. Ostrava, 2007.
- [11] ČECH, Bohumír a Jan MATOUŠEK. *Zhodnocení možnosti úprav výměníku pro dosažení jmenovitého výkonu: Předběžná zpráva*. Ostrava, 2010.
- [12] DLOUHÝ, Tomáš. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. Vyd. 3. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 978-80-01-03757-7.
- [13] KOLAT, Pavel. *Přenos tepla a hmoty*. 3. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001.
- [14] ČERNÝ, Václav. *Parní kotle a spalovací zařízení: vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty*. Praha: SNTL, 1975. Řada strojírenské literatury.
- [15] Podklady a materiály katedry energetiky VŠB – TU Ostrava k odsíření na EDĚ
- [16] Podklady a materiály společnosti ČEZ, a.s. k provozovanému zařízení odsíření, otopné soustavě, dodávanému uhlí včetně některých interních dokumentů.
- [17] Informace o výměnících. *ARES* [online]. 2017 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.deskove-vymeniky.cz/>
- [18] Kiswa J, *Technická zpráva diplomové práce*. Ostrava, 2018. Dostupné z: Diplomová práce. Vedoucí práce Čech B.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1.1.1 - Pohled na ELEKTRÁRNU DĚTMAROVICE .....                                | 11 |
| Obr. 3.1.1 - Odsiřovací linka EDĚ.....   | 14 |
| Obr. 3.2.1 - Dělení spalín do dvou odsiřovacích linek .....                        | 15 |
| Obr. 3.2.2 – Výkládka vápence na EDĚ .....   | 17 |
| Obr. 3.2.3 – Kladivkový mlýn vápence EDĚ .....                                     | 17 |
| Obr. 3.2.4 – Kulový mlýn vápence EDĚ .....   | 17 |
| Obr. 3.2.5 - Cirkulační čerpadla vápenné suspenze EDĚ .....                        | 18 |
| Obr. 4.2.1 - Skutečný stav žebrovaných trubek výměníku .....                       | 20 |
| Obr. 4.2.2 - Skutečný stav zaneseného výměníku .....                               | 20 |
| Obr. 4.3.1 - Odsiřovací proces – schéma [16] .....                                 | 21 |
| Obr. 4.3.2 - Obrazovka odsíření z pohledu operátora.....                           | 22 |
| Obr. 5.3.1 – Stanovení rosného bodu - grafy.....                                   | 27 |
| Obr. 6.4.1 - Teplot spalín, stěn kouřovodu - grafy .....                           | 37 |
| Obr. 7.1.1 - Nákras použitého cirkulačního čerpadla .....                          | 39 |
| Obr. 8.1.1 - Vzdálenosti navrhovaných projektů – mapa .....                        | 40 |
| Obr. 8.1.2 - Projekt vytápění skleníků – mapa .....                                | 41 |
| Obr. 8.1.3 - Skleníky - Článek z novin .....                                       | 42 |
| Obr. 8.1.4 - Aquapark (ilustrační foto) .....                                      | 43 |
| Obr. 8.2.1 - Nízkotlaká regenerace napájecí vody.....                              | 44 |
| Obr. 8.2.3 - Detail připojení za 2. stupeň kondenzačních čerpadel - schéma.....    | 46 |
| Obr. 8.3.1 - Připojení do otopné soustavy Orlové - schéma.....                     | 49 |
| Obr. 8.3.2 – Detail připojení do otopné soustavy Orlové - schéma.....              | 50 |
| Obr. 8.3.3 – Energetická spotřeba otopné soustavy Orlové - graf.....               | 51 |
| Obr.8.3.4 - Deskový výměník (ilustrační foto).....                                 | 52 |
| Obr. 8.4.1 - Kombinované zapojení výměníku - schéma .....                          | 54 |
| Obr. 8.4.2 – Detail kombinovaného zapojení výměníku - schéma.....                  | 55 |
| Obr. 9.1.1 – Původní zapojení výměníku – schéma .....                              | 56 |
| Obr. 10.1.1 – Předpokládané zapojení výměníku, navrhovaná realizace – schéma ..... | 57 |
| Obr. 10.1.2 – Návrh umístění výměníku v odsiřovací lince - schéma .....            | 58 |
| Obr. 11.1.1 – Elektronické tabulky tepelné kapacity vody.....                      | 59 |
| Obr. 11.1.2 – Logaritmický teplotní spád - schéma.....                             | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 11.3.1 – Navrhované žebrování v 3D modelu .....                         | 63 |
| Obr. 11.3.2 – Trubka s žebrováním v 3D modelu .....                          | 64 |
| Obr. 11.3.3 – Konečná podoba sestavy navrhovaného výměníku .....             | 64 |
| Obr. 11.3.5 – Navrhované umístění modelu do kanálu odsířovací jednotky ..... | 65 |



## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 4.3.1 - Parametry odsíření EDĚ.....  | 21 |
| Tab. 4.3.2 - Spotřeba surovin na odsiřovací lince EDĚ.....                            | 22 |
| Tab. 5.1.1 - Vlastnosti suspenze v absorbéru .....                                    | 23 |
| Tab. 5.1.2 - Chemické složení suspenze v absorbéru .....                              | 23 |
| Tab. 5.1.3 - Chemické složení těžkých kovů v suspenzi absorbéru .....                 | 24 |
| Tab. 5.2.1 - Chemické složení - naměřené spaliny .....                                | 25 |
| Tab. 6.1.1 - Základní parametry kotle na EDĚ .....                                    | 28 |
| Tab. 5.2.1 - Složení používaného paliva v surovém stavu .....                         | 29 |
| Tab. 6.3.1 - Parciální tlak vodní páry na mezi sytosti pro danou teplotu vzduchu..... | 31 |
| Tab. 6.3.2 - Výpočet koncentrace jednotlivých složek ve spalínách .....               | 34 |
| Tab. 6.4.1 - Parametry spalín naměřené .....  | 35 |
| Tab. 6.4.2 - Parametry spalín teplota, kyslík, oxid siřičitý – naměřené hodnoty ..... | 36 |
| Tab. 6.5.1 – Teplotní hodnoty spalín pro výpočet + další .....                        | 38 |
| Tab. 7.1.1 - Parametry použitého oběhového čerpadla.....                              | 39 |
| Tab. 8.3.1 - Parametry základního ohříváku – bloková výměníková stanice .....         | 47 |
| Tab. 8.3.2 - Parametry špičkového ohříváku – bloková výměníková stanice .....         | 47 |
| Tab. 8.3.3 - Parametry základního ohříváku – neblokovaná výměníková stanice .....     | 48 |
| Tab. 8.3.4 - Parametry základního ohříváku – neblokovaná výměníková stanice .....     | 48 |
| Tab. 8.3.5 - Parametry oběhových čerpadel neblokované výměníkové stanice.....         | 48 |
| Tab. 8.3.6 - Parametry otopné soustavy části Orlová .....                             | 51 |
| Tab. 8.3.7 - Data pro návrh deskového výměníku.....                                   | 51 |
| Tab. 8.3.8 - Rozměry deskových výměníků .....   | 52 |
| Tab. 11.1.1 - Hodnoty spalín pro výpočet výměníku .....                               | 58 |
| Tab. 11.1.2 – Volené parametry navrhovaného výměníku .....                            | 60 |
| Tab. 11.2.1 – Vypočtené základní parametry navrhovaného výměníku .....                | 63 |

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výrobní výkres žebrované trubky (formát: A4, počet stran: 1)

Příloha B: Výkres sestavy výměníku (formát: A3, počet stran: 1)

*Neveřejná příloha B (příloha je součástí přílohy v literatuře [18])*